

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní**

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

**Bodové odporové svařování vysokopevnostních plechů  
v automobilovém průmyslu**  
**Spot resistance welding high strenght sheet metal in automobile  
industry**

Jiří Pacák  
**KSP – SM – 523**

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing. Heinz Neumann, CSc. – *TU v Liberci*

## **Rozsah práce a příloh:**

<b>Počet stran</b>	<b>63</b>
<b>Počet tabulek</b>	<b>5</b>
<b>Počet příloh</b>	<b>26</b>
<b>Počet obrázků</b>	<b>31</b>

**Datum:** 5.1.2007

# ANOTACE

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

**Katedra strojírenské technologie**

**Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství  
Diplomant: Jiří Pacák  
Téma práce: Bodové odporové svařování vysokopevnostních plechů  
v automobilovém průmyslu  
Spot resistance welding high strenght sheet metal in  
automobile industry  
Číslo DP: KSP – SM – 523  
Vedoucí DP: Doc.Ing. Heinz Neumann, CSc. – *TU v Liberci*

První část diplomové práce se zabývá teorií odporového svařování. Jsou zde vysvětleny základní principy této svařovací metody. Důraz je kladen především na vysvětlení vlivu nastavení základních svařovacích parametrů a jejich vliv na celkovou životnost svařovacích elektrod. Experimentální část pojednává o problematice svařování vysokopevnostních plechů v automobilovém průmyslu. Smyslem experimentu bylo stanovení svařovacích parametrů v závislosti na co nejlepších mechanických vlastnostech svarového spoje v závislosti na optimální životnosti svařovacích elektrod.

The first part of the diploma work is engaged in theoretical principle of the resistance welding. The basic principles of this welding method are explained here. The emphasis is on the explaining of the influence setting of the basic welding parameters and their influence on the all life of the welding electrodes. The experimental part treats about the problems of welding high strenght sheet metals in the automobile industry. The result of this experiment was the specifying the welding parametrs in dependance on the best mechanic property of the weld point in dependance on the optimalization life welding electrodes.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové, 5. ledna 2007

.....

Jiří Pacák  
Antonína Dvořáka 1094  
500 02 Hradec Králové

<b>Obsah</b>	5
Seznam hlavních použitých symbolů	7
<b>1.0 Úvod</b>	8
<b>2.0 Odporové svařování</b>	9
2.1 Odporové svařování v automobilovém průmyslu	11
2.2 Teorie odporového svařování	11
2.3 Metody odporového svařování	14
2.4 Teplotní pole při bodovém svařování	15
<b>3.0 Hodnocení kvality bodových odporových svarů</b>	17
3.1 Destrukční zkoušky	17
3.2 Nedestrukční zkoušky	20
3.3 Geometrie svarového bodu	23
3.4 Požadavky na personál provádějící zkoušky	26
3.5 Archivace zkušebních protokolů	26
<b>4.0 Životnost svařovacích elektrod</b>	26
4.1 Metalurgické zvláštnosti při svařování ocelových plechů s kovovými povlaky	28
<b>5.0 Řízení svařovacího procesu</b>	28
5.1 Řídící svařovací systém weld 334m	28
5.2 Svařovací parametry	29
5.3 Středofrekvenční řízení	35
5.4 Řídící svařovací systém s automatickou regulací	36
<b>6.0 Popis svařovacího zařízení</b>	39
6.1 Rozdělení svařovacích kleští	39
6.2 Středofrekvenční kleště	39
6.3 Silový systém svařovacích kleští	39
<b>7.0 Vysokopevnostní plechy</b>	40
7.1 Termomechanické zpracované oceli	41
7.2 Svařitelnost termomechanických ocelí	42
<b>8.0 Cíle diplomové práce</b>	42
<b>9.0 Metodické postupy zpracování diplomové práce</b>	44
9.1. Volba základního materiálu pro experimentální měření	44

9.2	Svařovací pracoviště a metody měření elektrických veličin odporového svařování .....	45
9.3	Praktický postup při provádění experimentálního měření .....	46
<b>10.0</b>	<b>Vyhodnocení měření – diskuze</b> .....	49
10.1	Vyhodnocení souboru měření č.1a .....	49
10.2	Vyhodnocení souboru měření č.1b .....	53
10.3	Vyhodnocení souboru měření č.2 .....	56
10.4	Vyhodnocení souboru měření č.3 .....	59
<b>11.0</b>	<b>Závěr</b> .....	61
<b>12.0</b>	<b>Seznam použité literatury</b> .....	63

## SEZNAM HLAVNÍCH POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$Q$	- celkové množství tepla vyvinuté při průchodu svařovacího proudu	[ $J$ ]
$I$	- svařovací elektrický proud	[ $A$ ]
$R$	- elektrický odpor	[ $\Omega$ ]
$t_{SV}$	- svařovací čas	[ $per$ ]
$q_V$	- intenzita objemového zdroje tepla	[ $J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$ ]
$c$	- měrné teplo	[ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$\gamma$	- hustota	[ $kg \cdot m^{-3}$ ]
$a$	- součinitel teplotní vodivosti	[ $m^{-2} \cdot s^{-1}$ ]
$T$	- teplota	[ $K$ ]
$r$	- poloměr elektrody	[ $mm$ ]
$t_l$	- hloubka vniknutí svarového bodu	[ $mm$ ]
$t_s$	- rozměr spáry	[ $mm$ ]
$t_E$	- průměr vniknutí	[ $mm$ ]
$t_{1,2}$	- tloušťka materiálu	[ $mm$ ]
$t_r$	- minimální zbytková tloušťka plechu v oblasti vtisku elektrody	[ $mm$ ]
$d_p$	- průměr svarového bodu	[ $mm$ ]
$d_L$	- průměr svarové čočky	[ $mm$ ]
$F$	- svařovací síla	[ $N$ ]
$Z$	- impedance svařovacího obvodu	[ $\Omega$ ]
$L$	- indukčnost	[ $H$ ]

## 1.0 Úvod

V posledních letech se přední výrobci automobilů vzhledem k sílící konkurenci zejména výrobců z Číny snaží svým zákazníkům nabídnout maximální bezpečnost při jízdě automobilem. Z těchto důvodů se při výrobě karoserií používají vysokopevnostní materiály. Tyto vysokopevnostní ocelové plechy se stávají nepostradatelnou součástí karoserie v nárazových zónách, kde pomocí řízené deformace plní svůj účel pro maximální bezpečnost cestujících.

V souladu s tímto světovým trendem automobilka Škoda Auto a. s. tyto vysokopevnostní ocelové plechy zavedla poprvé na modelu Octavia Tour. V současné době se používají na modelech Roomster a modifikovaného typu Octavia A5. Na modifikaci vozu Superb budou tyto materiály zastoupeny ve větší míře.

Vzhledem k mechanickým vlastnostem těchto vysokopevnostních ocelových plechů se bude postupně zvyšovat použití i v jiných strojírenských odvětvích.

S použitím těchto materiálů ve strojírenské výrobě sebou přináší i specifické problémy při tváření a svařování. Pro jednotlivé zpracovatelské technologie se potenciální odběratelé vysokopevnostních plechů snaží získat informace z odborné literatury.

Základní svařovací technologií používanou při výrobě samonosných karoserií je odporové bodové svařování. Bodové svařování vysokopevnostních ocelových plechů v kombinaci s ocelovými plechy opatřené protikorozním povlakem má specifické rysy z hlediska metalurgických dějů při tvorbě svaru i dějů probíhajících mezi pracovní částí elektrody a povrchem svařovaných plechů. Kvalita bodových svarů je závislá na nastavení základních svářecích parametrů. Pro kvalitní nastavení svářecích parametrů je nutno znát fyzikální podstatu odporového bodového svařování. Bez základních znalostí nelze provést takové nastavení svářecích parametrů, které by zajistilo ekonomickou životnost svařovacích elektrod a hlavně požadovanou kvalitu prováděných svarových spojů.

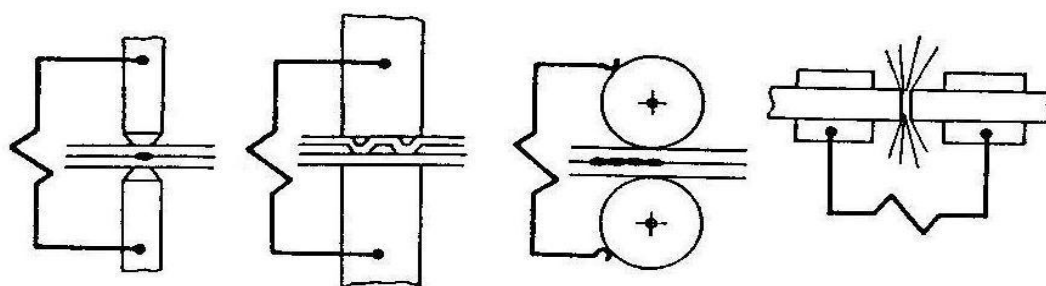
Tato práce je zaměřena na popis fyzikální podstaty odporového svařování a zejména vysvětlení základních pojmů pro dobré nastavení

základních svařovacích parametrů při svařování vysokopevnostních ocelových plechů. V práci je definován pojem kvalita bodového svaru, protože toto kritérium je alfaomegou monitorovacích systémů a řízení svařovacího procesu.

## 2.0 Odporové svařování

Odporové svařování je jednou ze svařovacích technologií, jejíchž význam a rozšíření stále vzrůstá. Objevení této metody se vztahuje kolem roku 1877, nemohla však být průmyslově aplikovaná, protože nebyly elektrické prvky pro regulaci ani kvalitní zdroje střídavého proudu. Od roku 1925 se zvyšuje nasazení v průmyslu a nastává poměrně velký rozmach této technologie svařování kovů. Technologie odporového svařování je založena na principu průchodu elektrického proudu svařovaným místem a tlakového působení svařovacích elektrod. Průchodem elektrického proudu svařovaným místem se materiál svařovaných součástí ohřeje odporovým teplem, následuje fáze natavení materiálu a působením tlaku dojde k vytvoření svařovaného bodového spoje. Odporové svařování patří mezi svařovací metody s vysokou produktivitou práce. Nepatrný rozvod tepla při svařování snižuje deformace svařenců na minimum. K uvedeným kladům lze přičíst i hledisko hygienické, neboť svářeč pracuje pouze s ochrannými brýlemi a hledisko elektromagnetického vlivu na lidský organismus po několika měřeních ve Škodě Auto a.s. je zcela vyhovující.

Podle uspořádání elektrod a pracovního postupu rozdělujeme odporové svařování na svařování švové, výstupkové, stykové a bodové.



Obr. 1: Druhy odporového svařování

a) Bodové

b) Výstupkové

c) Švové

d) Stykové



- **bodové svařování:** Díly určené ke svaření se vloží mezi dvě měděné svařovací elektrody. Mezi svařovanými elektrodami se svařované díly stlačí, tímto se vytvoří podmínky pro koncentraci svařovacího tlaku a svařovacího proudu.

- **výstupkové svařování:** Svařované plochy jsou opatřeny výstupky a opět pomocí svařovacího tlaku dosáhneme podmínek pro vytvoření svaru. Svaření se uskutečňuje ve speciálních svařovacích přípravkách většinou ve svařovacích lisech. Svar se vytváří v místě styku záměrně vytvořeného výstupku. Tento způsob je také nazýván jako bradavkové svařování.

- **švové svařování:** Spoj se vytváří mezi kotoučovými elektrodami ve tvaru souvislého svaru. V případě větší rychlosti kotoučových elektrod lze vytvořit přerušovaný svar.

- **stykové svařování:** Při stykovém svařování se používají dva základní technologické postupy: stykové svařování stlačením a stykové svařování odtavením. Lze použít i kombinaci těchto dvou postupů.

Při stykovém svařování stlačením se přitlačí svařované díly tyčového průřezu opracovanou čelní plochou k sobě. Při dosažení přitlačného tlaku začne procházet svařovací proud a materiál se začne ohřívat, až se dosáhne požadované svařovací teploty. Svařovací teplota je nižší než teplota tavení svařovaného materiálu. Stlačením ohřátých dílů vznikne svar.

Při stykovém svařování odtavením nejprve začne procházet svařovací proud. Při přiblížení pohyblivou čelistí dojde nejprve k zahoření prvních dotykových ploch a nastane postupné natavování svařovaných dílů v místě styku. Po dostatečném ohřevu a nepřetržitém přibližování svařovaných dílů k sobě se natavené konce dílů stlačí zvýšenou rychlostí silou k sobě. Takto se všechna tavenina vytlačí do obvodového výronku a vznikne svar v plastickém stavu. Tímto způsobem lze svařovat trubky, výlisky a různé profily kde je možno dosáhnout dostatečné proudové hustoty.

Pro svaření rozměrnějších dílů se používá kombinovaný způsob ohřevu, kde probíhá nejprve odporový ohřev svařovaného materiálu. Svařované díly se několikrát od sebe oddálí v tzv. cyklech dle svařovacích parametrů. Po důkladném ohřevu svařovaných dílů do hloubky nastane odtavení zakončené prudkým stlačením.

## **2.1 Odporové svařování v automobilovém průmyslu**

V automobilovém průmyslu se nejvíce provádí bodové svařování.

V ojedinělých případech se volí způsob výstupkového odporového svařování, které se provádí na stacionárních svařovacích strojích. Zpravidla se jedná o různé strojní součásti jako jsou např. matice.

Tato technologie je velice výhodná vzhledem k produktivitě práce. Vytvoření bodového svaru je velmi rychlé. Celkový svařovací čas se pohybuje v rozmezí od 0,03 až 1 [s]. Při svařování karoserií se provede kolem 5 000 svařovacích bodů. V současné době neexistuje výrobce automobilu, který by při výrobě karoserie nepoužíval pozinkované plechy.

Vzhledem k této protikoroziční ochraně je odporové bodové svařování velmi výhodné, protože teplem ovlivněná oblast (TOO) je oproti tavnému obloukovému svařování MAG poměrně malá. Ochranný povlak zinku se odpaří v místě styku svařovacích elektrod a v dalších částech výlisku není ochranný povlak zinku porušen.

## **2.2 Teorie odporového svařování**

Průchodem elektrického proudu svařovaným místem se materiál svařovaných součástí ohřeje odporovým teplem, dojde k natavení materiálu a spojení svařovaných částí nastane krystalizací svarové čočky. Působením tlakové síly zajistíme dokonalé přiblížení svařovaných plechů, průchod svařovacího proudu a udržení taveniny v oblasti vytvoření svarové čočky. Přítlačná síla nám také způsobí plastické deformace chladnoucího spoje a zabezpečí odvod tepla ze spoje do svařovacích elektrod. Pro vznik odporového bodového svaru je důležité lokální zvýšení elektrického odporu v místě styku svařovaných plechů. Ve svařovaných materiálech je homogenní rozložení elektrického odporu. V první fázi odporového svařovacího děje probíhá intenzivní vývoj tepla ve styku svařovaných plechů. Teplo se šíří vedením v místech styku svařovacích elektrod se svařovaným materiálem. Měrný elektrický odpor materiálu se postupně zvyšuje s rostoucí teplotou a původně plošný zdroj tepla se postupně mění na objemový. První fáze trvá u oceli s nízkým obsahem uhlíku do 10 % z celkového svařovacího času. Tato první fáze je rozhodující pro vytvoření objemového zdroje tepla. Ve druhé

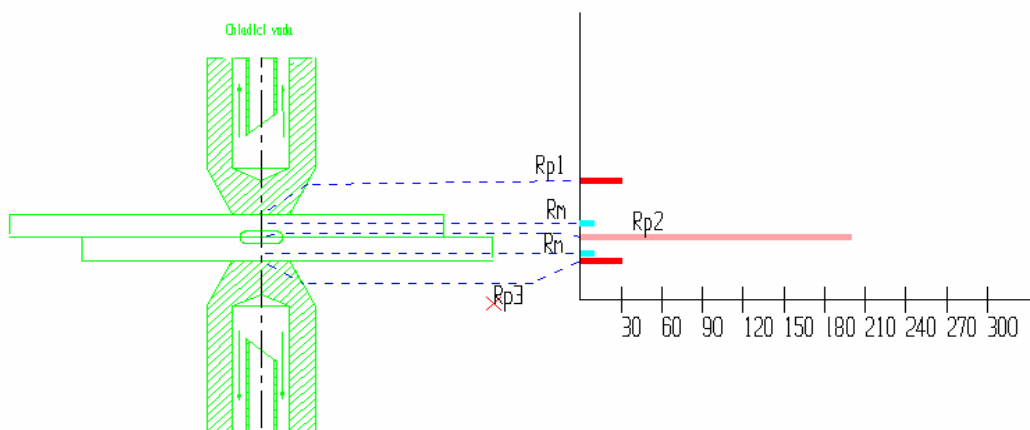
fázi svařovacího procesu pokračuje vývin tepla i po zániku přechodových odporů. Tyto přechodové odpory zaniknou vlivem působení přitlačné síly svařovacích elektrod. Přechodové odpory mezi svařovacími elektrodami se snažíme eliminovat hlavně použitým materiálem elektrod a kvalitou ofrénované dotykové plochy elektrody. V tomto cyklu má rozhodující vliv teplotní závislost měrného elektrického odporu svařovaného materiálu. Během svařovacího procesu se mění elektrický odpor mezi elektrodami a tudíž  $R$  a  $I$  jsou funkce času. Celkové teplo vyvinuté mezi elektrodami za čas  $t$  lze vyjádřit rovnicí ( 1 ):

$$Q = \int_0^{t_{sv}} R \cdot I^2 dt_{sv} \quad (1)$$

Po vyjádření integrálu v rovnici ( 1 ) lze vyjádřit  $Q$  ve tvaru ( 2 ):

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t_{sv} \quad (2)$$

$Q$	- celkové teplo	$[J]$
$R$	- celkový odpor	$[\Omega]$
$I$	- svařovací proud	$[A]$
$t_{sv}$	- svařovací čas	$[ms]$



Obr. 2: Odporů při bodovém svařování pozinkovaných plechů

Pro celkový elektrický odpor platí tedy vztah ( 3 ):

$$R_C = \sum_{m_1} R_m + \sum_{p_1} R_p \quad ( 3 )$$

$R_c$  - celkový odpor  $[\Omega]$

$R_m$  - odpor materiálu  $[\Omega]$

$R_p$  - přechodové odpory  $[\Omega]$

Dalším důležitým fyzikálním dějem při odporovém svařování je bezesporu deformační průběh svařovacího procesu. V poslední době se právě výrobci svařovacích strojů zaměřují na tuto problematiku konstrukčního řešení, které rozhoduje o statických a dynamických vlastnostech silového systému. Velký vliv na kvalitu svarových spojů mají dynamické charakteristiky silového systému u svařovacích strojů. O těchto charakteristikách bude pojednáno v kapitole č. 6.3. Deformace pracovní plochy svařovací elektrody a svařovaného materiálu v oblasti tvorby svarového spoje vznikají v průběhu celého svařovacího procesu. Největší deformace nastávají při odporovém ohřevu v průběhu vytváření svarového spoje. Tavenina vznikající odporovým ohřevem je vytlačována směrem k obvodu svaru v rovině styku svařovaných materiálů směrem ze spoje a svařovací elektrody se zatlačují do povrchu svařovaných plechů. Natavený materiál na obvodu svarové čochy spolu s jeho stlačováním svařovacími elektrodami způsobí oddálení plechů v okolí svarového spoje. Pokud vtisky svařovacích elektrod jsou velmi hluboké dojde ke zhoršení pevnostních charakteristik vytvořeného svarového spoje. Vliv svařovací síly dopadá i na svařovací elektrody, kde dochází ke zvětšení průměru dosedací plochy elektrody. Tato změna dosedací plochy má vliv na proudovou hustotu nebo nově zavedenou veličinu tzv.: intenzitu svařovacího procesu  $I/D$  [1]. Z těchto důvodů se snažíme buď zvyšovat svařovací proud v závislosti na počtu provedených svarových spojů nebo provádíme frézování svařovacích elektrod během pracovního cyklu. Tyto dynamické charakteristiky je nutno sledovat ve třech fázích průběhu svařovacího procesu. V první fázi při dosedu svařovacích elektrod, kde se snažíme silovým působením svařovacích elektrod eliminovat přechodové

odpory mezi elektrodou a svařovaným materiálem v dotykové oblasti. V druhé fázi svařovacího procesu při průchodu svařovacího proudu je nutno reagovat na tepelnou expanzi svaru. Tato fáze je z hlediska vytvoření kvalitního svarového spoje nejdůležitější. Systém musí být schopen ve velmi malém časovém intervalu vyvinout námi požadovanou sílu mezi elektrody. Ve třetí fázi lze provést tzv. kování sváru bez průchodu svařovacího proudu nebo tzv. svařování svařovacího proudu. (Jedná se o programovatelný průběh poklesu svařovacího proudu na nulu.) Tato třetí fáze se používá u pohledových bodů.

Základní svařovací parametry pro provedení kvalitního bodového svaru tedy jsou: svařovací proud, svařovací čas a potřebná síla mezi svařovacími elektrodami. O těchto parametrech se bude pojednávat v kapitole č. 2.6.

## 2.3 Metody odporového svařování

Základní rozdělení metod odporového svařování je provedeno dle normy ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování [2]. Tato norma je českou verzí evropské normy EN ISO 4063 a stanovuje přehled metod svařování, příbuzných metod a jejich číselné značení. Každá metoda je označena číslem maximálně tři číslice viz. tab 1. Tento systém je uvažován jako pomůcka pro počítačové zpracování, výkresy, pracovní podklady, stanovení postupů svařování atd.

**Tab. 1: Přehled metod a jejich číslování**

Číslo metody	Česky	Anglicky
2	Odporové svařování	Resistance welding
21	Bodové odporové svařování	Spot welding
211	Nepřímé bodové svařování	Indirect spot welding
212	Přímé bodové svařování	Direct spot welding
22	Švové odporové svařování	Seam welding
221	Švové svařování s přeplátováním	Lap seam welding
222	Švové svařování s rozválcováním	Mash seam welding

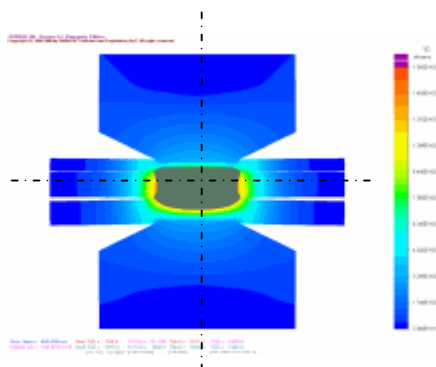
225	Stykové švové svařování s páskem	Foil butt-seam welding
226	Přeplátované švové svařování s páskem	Seam welding with strip
23	Výstupkové svařování	Projection welding
231	Nepřímé výstupkové svařování	Indirect projection welding
232	Přímé výstupkové svařování	Direct projection welding
24	Odtavovací stykové svařování	Flash welding
241	Odtavovací stykové svařování s předehřevem	Flash welding with preheating
242	Odtavovací stykové svařování bez předehřevu	Flash welding without preheating
25	Stlačovací stykové svařování	Resistance butt welding
29	Ostatní způsoby odporového svařování	Other resistance welding processes
291	Vysokofrekvenční odporové svařování	HF resistance welding ( high frequency)

## 2.4 Teplotní pole při bodovém svařování

Tepelné procesy při odporovém ohřevu jsou při této technologii svařování výrazným fyzikálním jevem. Matematické vyjádření teplotního pole při odporovém bodovém svařování je velice složité. Řešení je akceptovatelné za určitých okrajových podmínek, které neodrážejí skutečný průběh termofyzikálních vlastností svařovaných materiálů. Další nesoulad nastává při existenci kapalně a tuhé fáze a proměnné hranice mezi nimi při tvorbě svarového spoje. Teplo potřebné pro vytvoření bodového svaru vzniká průchodem svařovacího proudu soustavou, kterou lze z elektrického hlediska nahradit systémem do série zařazených odporů. Výpočet celkového odporu je značně komplikovaný z hlediska časové změny různých složek odporu. Na obr. 2 jsou vyznačeny jednotlivé dílčí odpory, které je nutno při výpočtu teplotního pole uvažovat. Dále by se musely uvažovat i změny odporu při

roztavení zinkové vrstvy. Další změna nastává vlivem metalurgicky ovlivněné vrstvy na povrchu svařovacích elektrod a tímto se tedy odpor svařovacích elektrod mění v závislosti na počtu provedených bodů. Zásadní vliv na začátku procesu svařování tvoří přechodový odpor na rozhraní dvou svařovaných plechů. Tento přechodový odpor velice rychle zanikne při ohřevu materiálu, protože zde se začíná vytvářet svarová čočka. Krátká existence těchto přechodových odporů postačí na start svařovacího procesu, který se dále udržuje pomocí objemového zdroje tepla, tvořeného odporem zahřátého materiálu. Zde se vytváří převážná část odporového tepla potřebného pro vznik svarového spoje.

Při formulaci matematického modelu teplotního pole při bodovém svařování [3] se uvažuje symetrie podle osy z viz. obr. 3.



Obr. 3: Geometrické uspořádání bodového svařování

Pro tento případ je možné napsat s určitým zjednodušením Fourierovu rovnici vedení tepla ve válcových souřadnicích ( 4 )

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{q_v}{c \cdot \gamma} \quad ( 4 )$$

$T$	teplota	$[K]$
$t$	čas	$[s]$
$a$	součinitel teplotní vodivosti	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
$q_v$	intenzita objemového zdroje tepla	$[J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}]$
$r$	poloměr elektrody	$[mm]$
$c$	měrné teplo	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\gamma$	hustota	$[kg \cdot m^{-3}]$

### 3.0 Hodnocení kvality bodových svarů

Kvalita bodových svarů se posuzuje komplexně vzhledem k požadovaným vlastnostem těchto spojů. Jelikož výroba karoserií v současné době je velkosériová výroba je nutno implementovat kontrolní mechanismy, které nám zajistí požadovanou kvalitu při provádění bodových svarů. Pomocí řídicího systému se snažíme kontrolovat hodnotu sekundárního proudu přímo při svařování. Svářecí technik odpovědný za kvalitu může nastavit tolerance této hodnoty a v případě mimolimitního stavu se automaticky provede opakování svaru. Po neúspěšném druhém pokusu řídicí systém svařování proces zastaví. Tento způsob kontroly není ideální, protože v praxi se stávají ojedinělé případy, kdy svařovací proud je v mezích tolerance, ale svarová čochka se nevytvoří.

Dalším procesem přímo ve výrobě je vizuální kontrola pracovníkem, který v případě podezření použije planžetový sekáč pro zjištění svarové čočky. Osobně jsem tuto zkoušku nazval jako polodestrukční s návratem do výrobního toku. Tento pracovník je povinen provádět kontrolu dle stanoveného harmonogramu od útvaru TgPV. Tento harmonogram zajistí plynulou sledovanost výrobního toku a to tak, že v případě chybně provedených bodů, lze zkontrolovat chybnou oblast svařovacích bodů od posledně prováděné zkoušky. Tato zásada platí ve firmě Škoda Auto a.s.

Jedním z nejdůležitějších pracovišť pro hodnocení kvality bodových svarů je zkušebna svarů. Na tomto pracovišti se dle stanoveného harmonogramu provádějí destrukční a nedestrukční zkoušky.

#### 3.1 Destrukční zkoušky

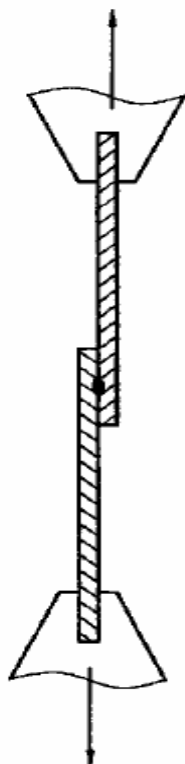
Destrukční zkoušky bodových svarů jsou rozděleny na mechanické a metalografické. Při destrukčních zkouškách lze stanovit jak průměr svarové čočky, tak i průměr bodu. Podrobnější popis geometrie bodového svaru je v kapitole č. 3.3.

**Zkouška sekáčem** se provádí pomocí sekáče, který se zasune mezi svařené plechy tak, že dojde k destrukci bodového svaru. Při zkoušce dojde k vytrhnutí bodového svaru nebo ke zlomení v oblasti spoje. Možné jsou i kombinace obou druhů lomu. Při stanovení průměru bodu se pomocí



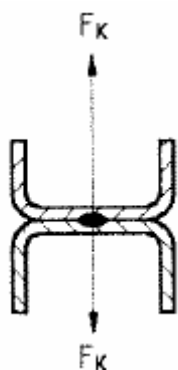
posuvného měřidla změří průměr svarové čočky  $d_1$  a  $d_2$  (2. měření přesazené o  $90^\circ$ ) a je stanovena průměrná hodnota z obou měření. Ve Škodě Auto a.s. se destrukční zkouška provádí pomocí pneumatického plochého sekáče Snapoon. Při této zkoušce dojde k úplnému znehodnocení zkoušeného dílu. Pracovníci ve zkušebně svarů potom kontrolují vytržený průměr svarové čočky dle normy VW 011 05-1 [4]. Tato metoda se používá hlavně při náběhu nového modelu, protože v této fázi výroby se provádí optimalizace svařovacích parametrů. Na základě vyhodnocení a celkových přehledů se volí levnější varianta zkoušení ultrazvukem s návratem kontrolovaného dílu do výroby. V každém případě zůstane určitý počet destrukčních zkoušek zachován např. při výrobě vozu Superb v Kvasinách se v roce 2004 provedlo destrukčních zkoušek v hodnotě 1 033 239,- Kč (cena všech dílů).

**Stříhová zkouška** se provádí na trhacím stroji dle normy ČSN EN ISO 14273 [5]. Postup zkoušky je znázorněn na obr. 4. Stříhovou zkoušku je nutno podle možností používat u všech svarových bodů. Při zkoušce má být simulován reálný směr namáhání. K tomu lze použít pomocné přípravky.



Obr. 4: Stříhová zkouška

**Zkouška vrcholového tahu** se provádí na trhačím stroji, kde zatížení je aplikováno kolmo k rovině plechu u svarového bodu. Postup zkoušky je znázorněn na obr. 5.



Obr. 5: Zkouška vrcholového tahu

**Zkouška kroucením** se provádí zvyšováním kroutícího momentu potřebného na porušení spoje. Po porušení vzorku se posuzuje vzhled lomu a průměr svaru.

**Zkouška odlupovací** se provádí podle normy ČSN EN ISO 14270 [6]. Tento typ zkoušky nám poskytuje informace o chování svarových spojů v podmínkách blízkých provozním. Odlupovací zkouškou lze odhalit studené spoje. Studené spoje představují velké nebezpečí, protože se velmi špatně odhalují při nedestrukčních zkouškách a právě tyto spoje se např. při zkoušení pomocí ultrazvuku jeví jako vyhovující. Ke vzniku studeného spoje dochází ve stykové oblasti ocelových plechů a spoj je tvořen pouze spojením z roztavené povrchové ochranné vrstvy zinku. Pevnostní charakteristiky takto vytvořených nekvalitních spojů jsou nulové a při výrobě karoserií jsou nežádoucí.

**Metalografická zkouška** je destrukční zkouškou. Při metalografickém hodnocení se posuzuje makrostruktura i mikrostruktura svarového spoje. Za účelem zkoušky se zkoumané svarové body uprostřed rozříznou a provede se výbrus. Spojení kovu se zviditelní pomocí vhodného leptadla (např. 2% alkoholická kyselina dusičná). Na tomto příčném výbrusu lze určit jak průměr svarové čocky tak i nepravidelnosti (např. póry, vylučování oxidů, hranice zrn a povrchové trhliny, popř. mikrotrhliny).

## 3.2 Nedestrukční zkoušky

Vizuální metoda je základní metoda pro zjištění povrchových vad. Vyžaduje dobré zrakové schopnosti pracovníka a vhodné osvětlení kontrolního místa. Základní podmínkou pro správné provedení kontroly je znalost technologie výroby kontrolovaného dílu.

### Prozařovací metoda

Při prozařovací (radiografické) metodě se používá rentgenové záření gama. Gama záření je příčné elektromagnetické vlnění o velmi krátkých vlnových délkách  $10^{-9} - 10^{-12}$  [m].

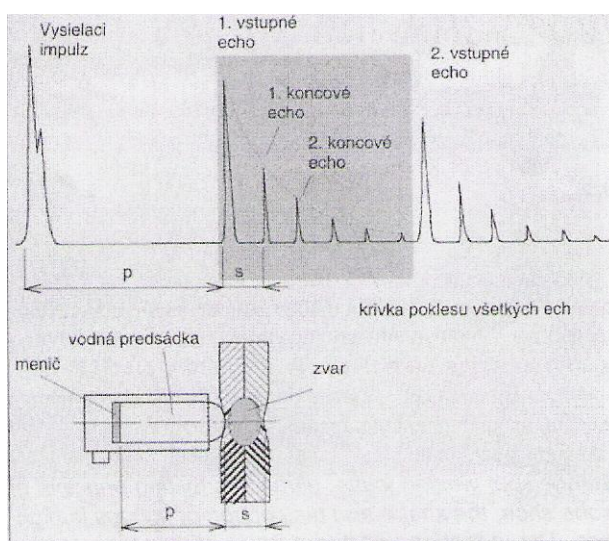
### Magnetická metoda

Princip této metody spočívá ve zjišťování povrchových a podpovrchových necelistvostí ve feromagnetických materiálech pomocí magnetického rozptylového toku.

### Ultrazvuková metoda - defektoskopie

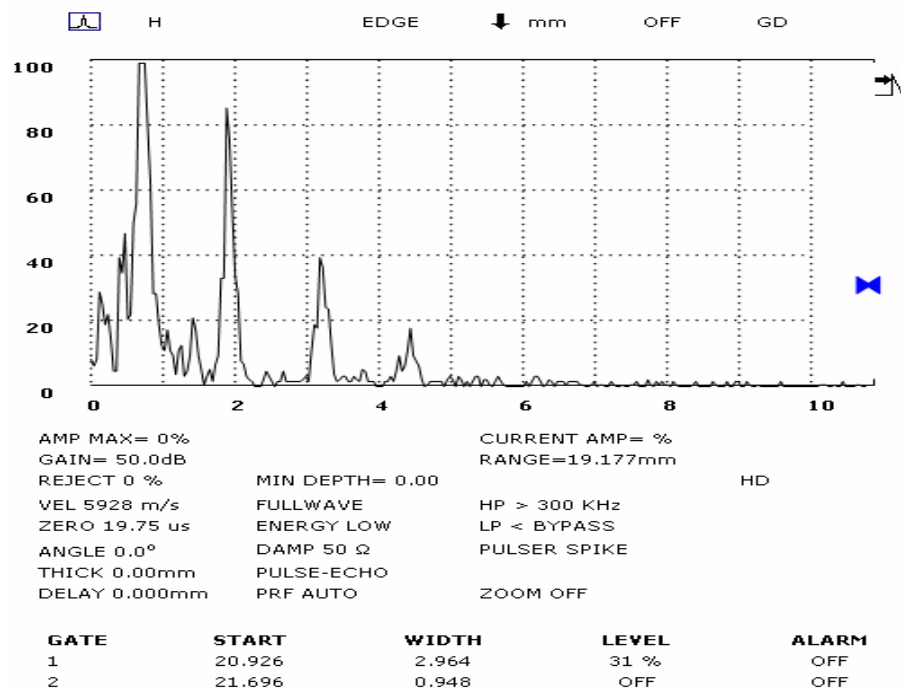
Metoda je založena na průchodu ultrazvukového vlnění v materiálu. Ultrazvuková vlna se v materiálu řídí fyzikálními a optickými zákonitostmi a může se tedy odrážet, lámat a absorbovat. Ultrazvuková sonda vysílá vlny a zároveň přijímá odražené vlny, které se potom vyhodnocují v tzv. A-scan zobrazení na monitoru v echogramu. Při vyhodnocování echogramů je dobré znát výrobní technologii a mít zkušenosti z destrukční zkouškou. Tyto znalosti velmi usnadní rozhodnutí o kvalitě bodového svaru. Ultrazvuková sonda je velmi citlivá na to pod jakým úhlem jí pracovník přiloží k povrchu bodového svaru a s jakým přitlakem. Tato metoda má nesporné výhody v úspoře finančních prostředků za nepoškozené zkoušené díly, ale také spoustu odpůrců v automobilovém průmyslu, protože je velmi obtížné prokázat pravdivost náměru. Velmi těžko se odhaluje tzv. zinkové spojení při kterém se veškeré náměry jeví jako správně provedený bodový svar. Ve skutečnosti došlo pouze k natavení povrchového zinku na vnitřních stranách materiálu a tato vrstva umožní průchod ultrazvukového vlnění, nedojde tedy k odrazu na rozhraní a bodový spoj se jeví jako homogenní. Velmi obtížně

se měří svarové body provedené přes bodovací mēdě. Na obr. 6 je popsán průběh zkoušky kvalitního bodového spoje [7].

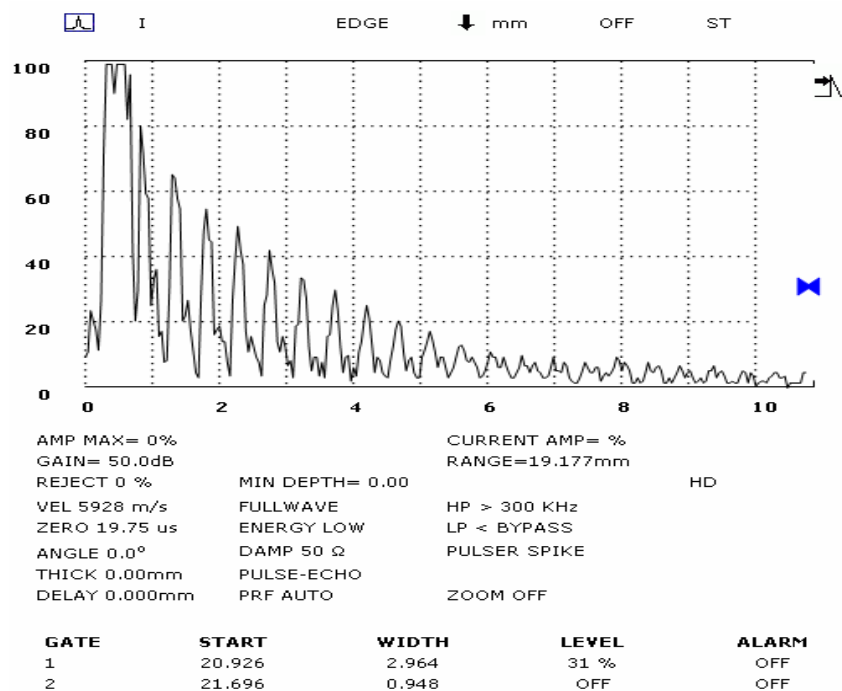


Obr. 6: Princíp ultrazvukové metódy

Ultrazvukový impulz z piezoelektrického měniče sondy po překonání dráhy „p“ v předsádce vstupuje do materiálu, přičemž se částečně odrazí od rozhraní předsádka – materiál a po dopadu na měnič se vytvoří tzv. vstupní echo. Částečně zeslabený impulz se šíří do materiálu. Jakmile dojde k průchodu rozhraním, v našem případě bezchybného svaru to je protilehlý povrch druhého plechu. Zde dojde k odrazu a impulz se vrací zpět k měniči. Projde svarem a na rozhraní materiál – předsádka část impulsu pokračuje předsádkou až na rozhraní měniče, kde se vytvoří tzv. první koncové echo. Druhá část se však opět odrazí na rozhraní a celý proces se opakuje se stále menší amplitudou signálu. Na základě poklesu koncových ech a stejné vzdálenosti mezi nimi zkušený pracovník rozhodne o kvalitě bodového spoje. Na obr.č. 7 je uveden A-scan vyhovujícího svarového bodu a na obr. č. 8 je uveden A-scan nevyhovujícího svarového bodu.



Obr. 7: Vyhovující echogram, tloušťka plechu 1 [mm]

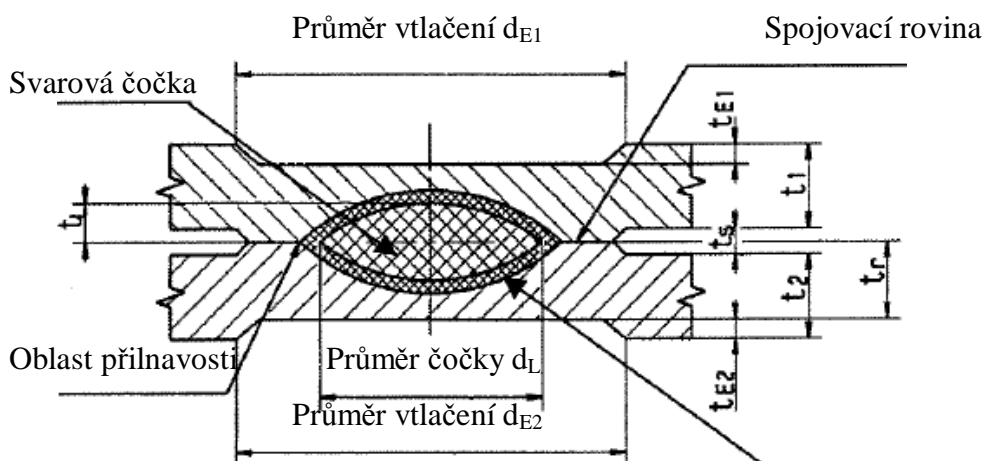


Obr. 8: Nevýhovující echogram, tloušťka plechu 1 [mm]

### 3.3 Geometrie svarového bodu

Každý bodově svařovaný spoj se vyznačuje souborem charakteristik a jejich vlivem na výrobu, které se podle požadavků na kvalitu posuzují měřitelnými veličinami.

**Průměr čočky  $d_L$** - jako průměr čočky platí průměr oblasti v dělicí rovině (kolmo ke spojovací rovině) dílů obrobku.



Obr. 9: Geometrie svarového bodu

$t_l$	hloubka vniknutí svarového bodu	[mm]
$t_s$	rozměr spáry	[mm]
$t_E$	průměr vniknutí	[mm]
$t_{1,2}$	tloušťka materiálu	[mm]
$t_r$	minimální zbytková tloušťka plechu v oblasti vtisku elektrody	[mm]

#### **Hloubka vniknutí svarového bodu $t_L$**

Hloubka vniknutí svarového bodu má činit  $\geq 0,2$  mm.

#### **Průměr vniknutí $d_{E1}$ , $d_{E2}$**

Jako průměr vniknutí  $d_E$  platí vždy střední průměr vtlačení, zapříčiněného elektrodou.

#### **Hloubka vniknutí $t_{E1}$ , $t_{E2}$**

Za hloubku vniknutí  $t_E$  se považuje vždy největší hloubka prohloubení, zapříčiněného elektrodou.

### **Rozměr spáry $t_s$**

Rozměr spáry  $t_s$  mezi svařenými plechy smí činit maximálně 20 % srovnávací tloušťky plechu  $t_v$ . Při individuálních požadavcích na hlučnost a těsnost je nutno přípustný rozměr spáry s ohledem na malé rozteče bodů dohodnout s příslušným konstrukčním oddělením.

### **Průměr svarového bodu $d_p$**

Průměr svarového bodu  $d_p$  je při stříhovém lomu střední průměr plochy lomu ve spojovací rovině obrobků bez vzniklé oblasti přilnavosti.

U vytrhnutého lomu je  $d_p$  střední průměr základní plochy vytrhnutého výstupku. U smíšeného lomu je  $d_p$  střední průměr základní plochy vytrhnutého výstupku včetně podíl lomu ve spojovací rovině ( $d_1$ , ne  $d_3$ ! viz. obr. 10). Průměr svarového bodu  $d_p$  slouží k nastavení jmenovité hodnoty průměru svarové čocky  $d_L$  a není proto uváděn na výkrese. V tabulce 2 jsou uvedeny požadované průměry dle tloušťky plechu.

**Tab. 2: Stanovení minimálního průměru čocky a bodu a minimální střížné tahové síly přes tloušťku plechu**

minimální tloušťka plechu $t_1$	průměr čocky $d_{Lmin} \geq 3,5 \sqrt{t_1}$	průměr bodu $d_{pmin} = 1,15 d_{Lmin}$	minimální tahová stříhová síla $F_{min}$
mm	mm	mm	kN
0,5	2,5	2,9	1,2
0,6 <sup>1)</sup>	2,7	3,1	1,5
0,7	2,9	3,3	1,9
0,8	3,1	3,6	2,3
0,9 <sup>1)</sup>	3,3	3,8	2,7
1,0	3,5	4,0	3,2
1,25 <sup>1)</sup>	3,9	4,5	4,2
1,5	4,3	4,9	5,1
1,75 <sup>1)</sup>	4,6	5,3	6,1
2,0	5,0	5,7	7,2

Tabulka platí pro: Paralelní a přeplátovaný svar

Při různých tloušťkách plechu je pro stanovení průměru svarového bodu resp. svarové čočky směrodatný tenčí plech  $t_1$ .

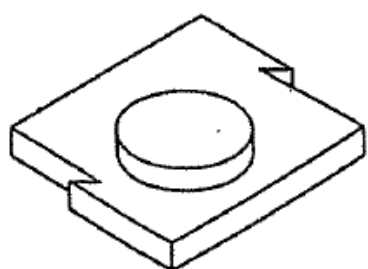
U dílenských zkoušek mohou při vytržení svarových bodů vzniknout výčnělky, jejichž průměr je v závislosti na vytvrzení materiálu při svařování větší než svarová čočka.

Při stanovení průměru bodu se pomocí posuvného měřidla změří výčnělek  $d_1$  a  $d_2$  (2. měření přesazené o  $90^\circ$ ) a je stanovena průměrná hodnota z obou měření. Pokud není možné přesné měření ve dvou směrech, je nutno použít menší průměr než  $d_p$  viz. obr. 10. Pro nepovrstvené a povrstvené plechy platí následující vztah (5)

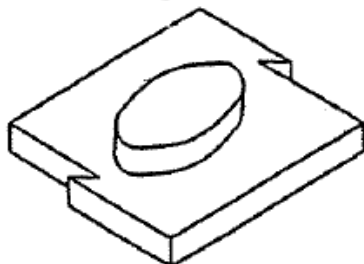
$$d_p = 1,15 \times d_L \quad (5)$$

$d_p$  - průměr svarového bodu [mm]

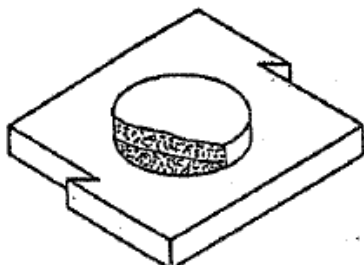
$d_L$  - průměr svarové čočky [mm]



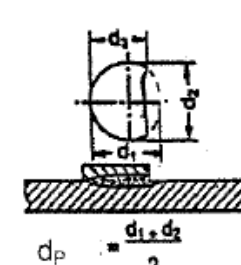
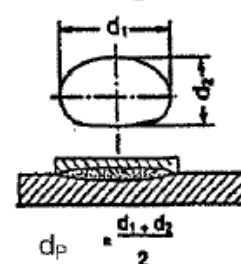
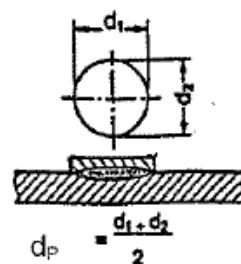
symetrické



asymetrické



částečně



Obr. 10: Geometrie svarové čočky



### 3.4 Požadavky na personál provádějící zkoušky

Pro provádění nedestruktivní kontroly musí být pracovníci odborně školeni a mít platný certifikát pro danou metodu zkoušení. Ve Škodě Auto a.s. je nutno získat certifikát měření svarových bodů ultrazvukem. Na základě mezinárodních dohod byla stanovena třístupňová kvalifikace.

**Level 1** Osoba certifikovaná ve stupni 1 je kvalifikována provádět NDT zkoušky podle písemných instrukcí a pod dohledem pracovníka s kvalifikací 2 nebo 3.

**Level 2** Osoba certifikovaná ve stupni 2 může provádět a řídit nedestrukční zkoušky podle stanovených postupů.

**Level 3** Osoba certifikovaná ve stupni 3 je kvalifikovaná provádět a řídit veškeré činnosti v NDT zkoušení.

### 3.5 Archivace zkušebních protokolů

Ve zkušebně svarů se o každé provedené zkoušce vede záznam. Tento záznam se nazývá Audit svarových spojů. Povinně dokumentované spoje, které jsou označeny písmenem **D** se archivují 15 let. Ostatní spoje bez označení se archivují 2 roky. Při provádění ultrazvukových zkoušek se archivace provádí v elektronické podobě.

### 4.0 Životnost svařovacích elektrod

Abychom mohli dostatečně definovat pojem životnost svařovacích elektrod je nutno stanovit kritéria hodnocení kvality bodového svaru. Ve Škodě Auto a.s. je jednoznačným kritériem minimální průměr svarového bodu. Tento průměr je stanoven podle normy VW 011 05-1 [4]. Tato norma říká, že minimální průměr svarové čočky je dán vztahem č. ( 6 ). Pro různé tloušťky plechu je pro stanovení průměru svarové čočky tenčí plech.

$$d_{L\min} \geq 3,5 \times \sqrt{t_1} \quad (6)$$

$d_L$  - průměr svarové čočky [mm]

$t_1$  - tloušťka materiálu [mm]

Dále je nutno definovat další působící faktory, které se podílejí na celkové životnosti svařovacích elektrod:

- vliv výrobce svařovacích elektrod
- vliv uživatele
- vliv svařovacího stroje

Mezi hlavní vlivy, které může ovlivnit výrobce svařovacích elektrod patří:

- zpevnění tváření za studena
- chemické složení
- tepelné zpracování

Vliv uživatele je na celkovou životnost svařovacích elektrod zásadní :

- nastavení svařovacích parametrů
- zajištění technologických podmínek: chladicí voda, kadence, volba elektrody a kvalitní frézování svařovací elektrody

Vliv svařovacího stroje spočívá v jeho možnostech regulace silového systému a schopnosti regulace svařovacího proudu případně času.

Vzhledem k ceně mědi je velký tlak na zvyšování životnosti elektrod. Jedním z prvků, který prodlužuje životnost elektrod až o desetinásobek je kvalitní proces frézování. Standardní životnost při výrobě karoserií na ručních pracovištích je cca: 1 000 svařovacích bodů. V roce 2005 jsem provedl experiment. Na ručních pracovištích jsem zavedl frézování. Pro zavedení ručního frézování bylo nejdříve nutno vyřešit automatické přepínání bez svařovacího proudu. Tento požadavek byl z důvodu životnosti frézy. Pokud bychom frézování provedli s nastaveným svařovacím proudem došlo by ke zničení minimálně rezného nože. Svařovací kleště prováděli bodové svary ocelových pozinkovaných plechů o tloušťce 0,8 mm a 1,5 mm. Frézovací cykly byly nastaveny v rozmezí 120 – 250 svařovacích bodů. Na provedených svařencích byly provedeny ultrazvukové zkoušky, které prokázaly kvalitní svary. Pro ověření byla provedena i destrukční zkouška. Při tomto experimentu jsem si ověřil , že i na ručních pracovištích lze dosáhnout prodloužení životnosti svařovacích elektrod, až na hodnotu 9 000 provedených bodů. Velkým problémem při uvedení tohoto experimentu do praxe bylo zajištění kvalitního ofrézování svařovacích elektrod pracovníky. Pokud jsem prováděl experiment na pracovišti pouze na jedné svařovací kleště a při frézování jsem dohlížel na postup frézování byl celý systém plně funkční.

Bohužel pro nedostatek ochoty ze strany výrobního personálu a útvaru pro plánování normy obsluhy jsem celkovou životnost svařovacích elektrod ukončil maximálně do 4 000 provedených bodů.

Závěrem lze konstatovat, že kvalita ofrézování svařovacích elektrod vzhledem k celkové životnosti elektrod blížící se k 7 000 svařených bodů má bezesporu velký význam. Z těchto důvodů je realizace výhodná pouze na robotových pracovištích.

## **4.1 Metalurgické zvláštnosti při svařování ocelových plechů s kovovými povlaky**

Při bodovém odporovém svařování pokovených ocelových plechů dochází k metalurgickému ovlivnění dosedací plochy svařovací elektrody. S tímto jevem je nutno počítat při nastavení svařovacích parametrů, abychom byli schopni dodržet požadovanou kvalitu. V místě dosedu svařovacích elektrod dochází v průběhu svařování k natavení protikorozního povlaku a k vytlačování roztaveného kovu na obvod svařovaného bodu. Dochází k intenzivnímu metalurgickému ovlivnění pracovní plochy elektrody. Mění se elektrická vodivost, tepelná vodivost. V průběhu svařování také dochází k mechanickému poškození pracovní části elektrody. To je hlavně způsobené silovým uspořádáním svařovacího stroje a vlivem nalepování na svařovaný materiál.

Metalurgicky ovlivněná vrstva na pracovní ploše svařovací elektrody se vytváří velmi rychle a již po několika provedených svarech se začínají měnit podmínky pro průchod svařovacího proudu. Toto ustálení nastává po provedení 30 – 60 svařovacích bodů. Z tohoto důvodu se nastavuje kroková funkce podle logaritmického průběhu.

## **5.0 Řízení svařovacího procesu**

### **5.1 Řídící svařovací systém**

Elektronický řídící systém je mikroprocesorové zařízení pro řízení svařovacího procesu. Pomocí jednoúčelového softwaru lze provádět základní nastavení svařovacích parametrů. Dále lze provádět diagnostiku svařovacího

zařízení a také archivaci svařovacích parametrů. Archivace svařovacích parametrů je velmi důležitá z hlediska certifikace výrobního systému. Výrobci řídicího svařovacího systému jsou např. italská firma GF Welding, španělská firma Serra, francouzská firma ARO nebo německé firmy Harms+Wende (HWH) a NIMAK. Každý z těchto výrobců dodává obslužný softwar, který s ostatními systémy řízení není kompatibilní. Zpravidla jsou odlišeny komunikační porty nebo zaměněny jednotlivé piny. Každý z výrobců používá jinou technologii pro zasíťování řídicích systémů. Firma GF Welding používá svojí kartu tzv. weldnet nebo profibus. V současnosti nachází velké uplatnění přenos signálu po síti ethernet. Každý řídicí systém odporového svařování je vybaven energeticky nezávislou pamětí RAM, která uchovává uložené svařovací parametry i když dojde k výpadku napájení.



Obr. 11: Řídicí systém od firmy GF Weding weld 334m

## 5.2 Svařovací parametry

Pro kvalitní svařovací proces je velmi důležité správné nastavení svařovacích parametrů. Hlavní svařovací parametry jsou svařovací proud  $I$  [kA], svařovací čas  $t$  [per., ms], svařovací síla  $F$  [N]. Pro úplnost je v příloze č. 1 vytištěn kompletní výpis svařovacích parametrů. Při parametrizování svařovacího procesu je nutno nastavit další hodnoty o kterých se zmíním později. Ve starší literatuře se uvádějí dva druhy režimu. Měkký režim se vyznačuje menšími svařovacími proudy a dlouhými svařovacími časy. Nevýhodou měkkého režimu jsou větší deformace, hlubší vtisk a větší spotřeba svařovacích elektrod. Tvrdý režim se vyznačuje krátkými svařovacími časy, větší proudovou hustotou a velkým tlakem mezi elektrodami.

V současné době se převážně používá tvrdý režim. O problematice svařovacích režimů vzhledem k intenzitě svařovacího proudu pojednává ing. Janota v literatuře [1].

### **Popis svařovacích parametrů:**

#### **1/ režim svařování KSR, PHA, SSU**

**KSR-** konstantní svařovací proud, který se nastavuje přímo v kiloampérech dle výkonu svařovacího transformátoru. Pro tento režim je potřeba senzor elektrického proudu, zvaný též měřicí cívka proudu, nebo Rogovského cívka. Pomocí senzoru měříme svařovací proud na sekundárním obvodu. Pomocí měřicí cívky je možno svařovací proces hlídat v nastavených mezních tolerancích svařovacího proudu. U svařovacích proudů 9 – 11 [ kA ] se tolerance nastavuje +/- 10 %.

**PHA-** způsob fázového řízení, při němž se výkon nastavuje procentuálně od 10 do 100.

**SSU-** režim jako PHA s kontrolou proudových tolerancí.

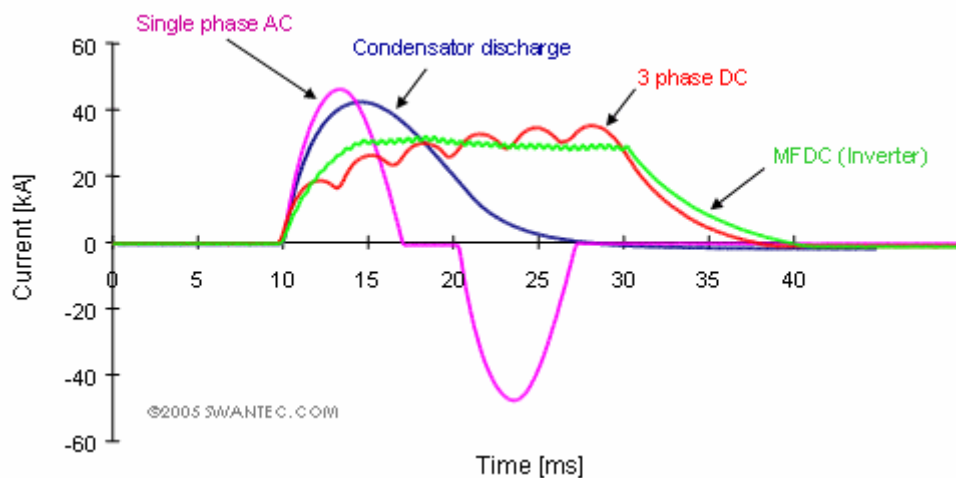
Na obr. 12 jsou znázorněny různé průběhy svařovacího proudu v závislosti na svařovacím čase. Fialová křivka znázorňuje sinusový průběh spínání pomocí tyrystoru IGBT. Z průběhu je vidět, že dochází ke střídání polarity sekundárního proudu a při svařování se budou vyskytovat proudové špičky. Důležitým prvkem při tomto průběhu je nastavení úhlu otevření tyrystoru. Tento parametr se nastavuje po provedení prvních svarů.

Červená křivka znázorňuje průběh u třífázového napájení a sekundární proud je usměrněn. U tohoto průběhu je vidět zvlnění, které je závislé na kvalitě výstupní filtrace.

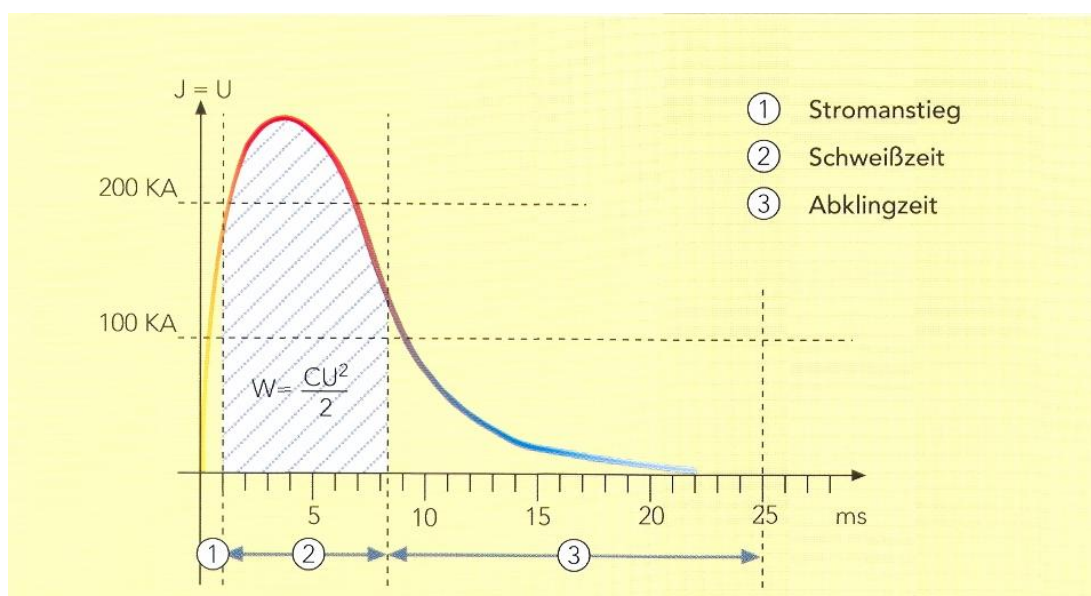
Modrá křivka znázorňuje kondenzátorový způsob, kdy dochází k postupnému vybíjení kondenzátoru. Časový diagram je znázorněn na obr.13.

Poslední zelená křivka znázorňuje ten nejlepší průběh svařovacího proudu, ale zároveň to je v současné době nejdražší technologie pro odporové svařování. Jedná se o středofrekvenční svařování o frekvenci 1000 [Hz]. Podrobný popis středofrekvenčního řízení je v kapitole č. 6.2. Z průběhu jsou patrné dobré možnosti nastavení svařovacích parametrů a hlavně jejich

průběhy funkcí v závislosti na čase mají minimální limity.



Obr. 12: Průběhy svařovacího proudu



Obr. 13: Časový diagram vybíjení kondenzátoru

## 2/ režim impulsů

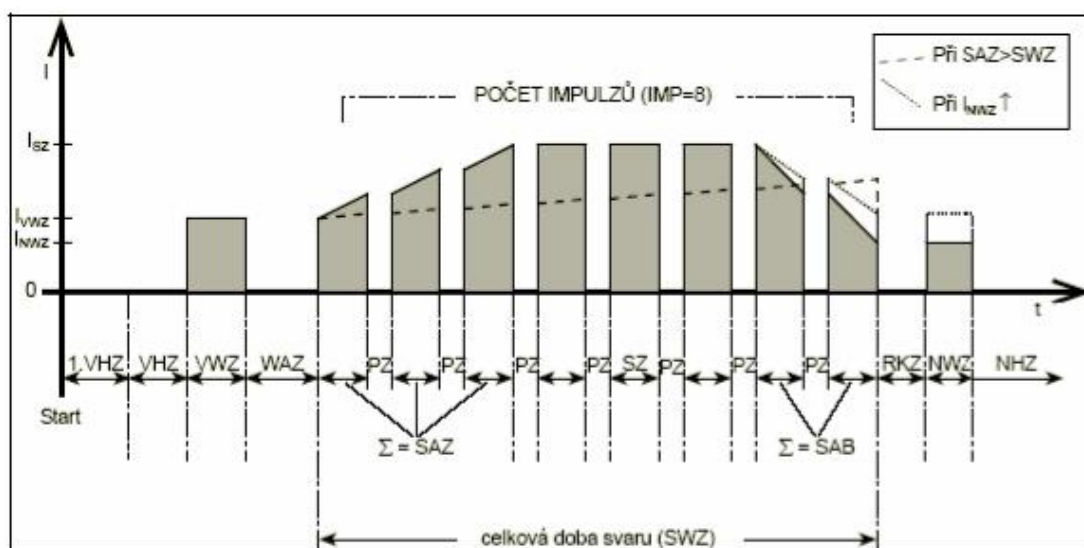
Můžeme volit mezi režimem impulsů normálním a speciálním. Při normálním režimu impulsů se všechny impulsy shodují. Při speciálním režimu impulsů se mohou impulsy navzájem lišit a musí být tedy naprogramovány jednotlivě.

Speciální impuls se volí v případě, kdy svařujeme ocelové plechy různé tloušťky např. 0,8 – 2,2 [mm]. V těchto případech se volí první impuls

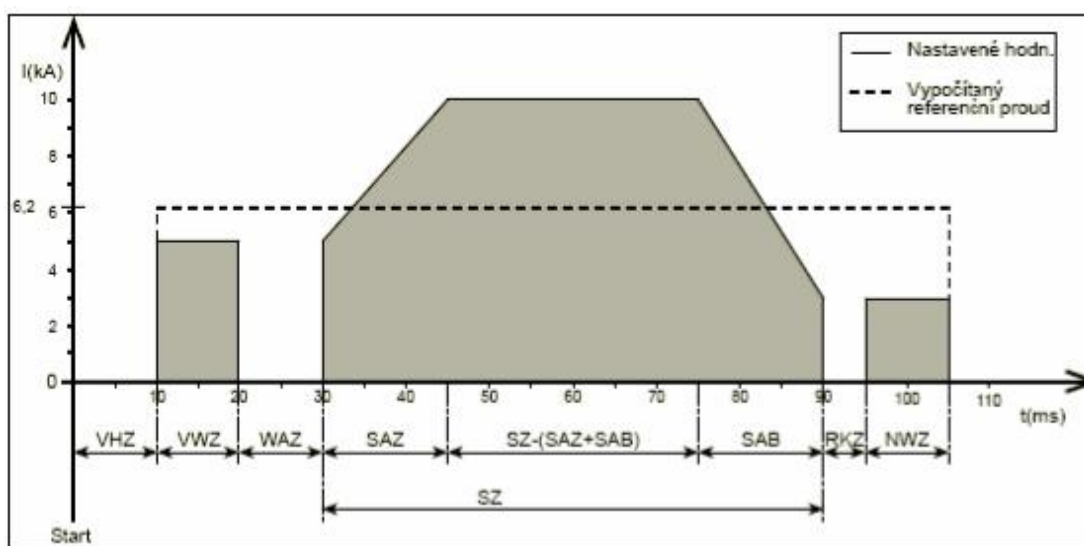
s menší proudovou hustotou. V automobilovém průmyslu se převážně svařuje jedním impulsem.

### 3/ svařovací čas

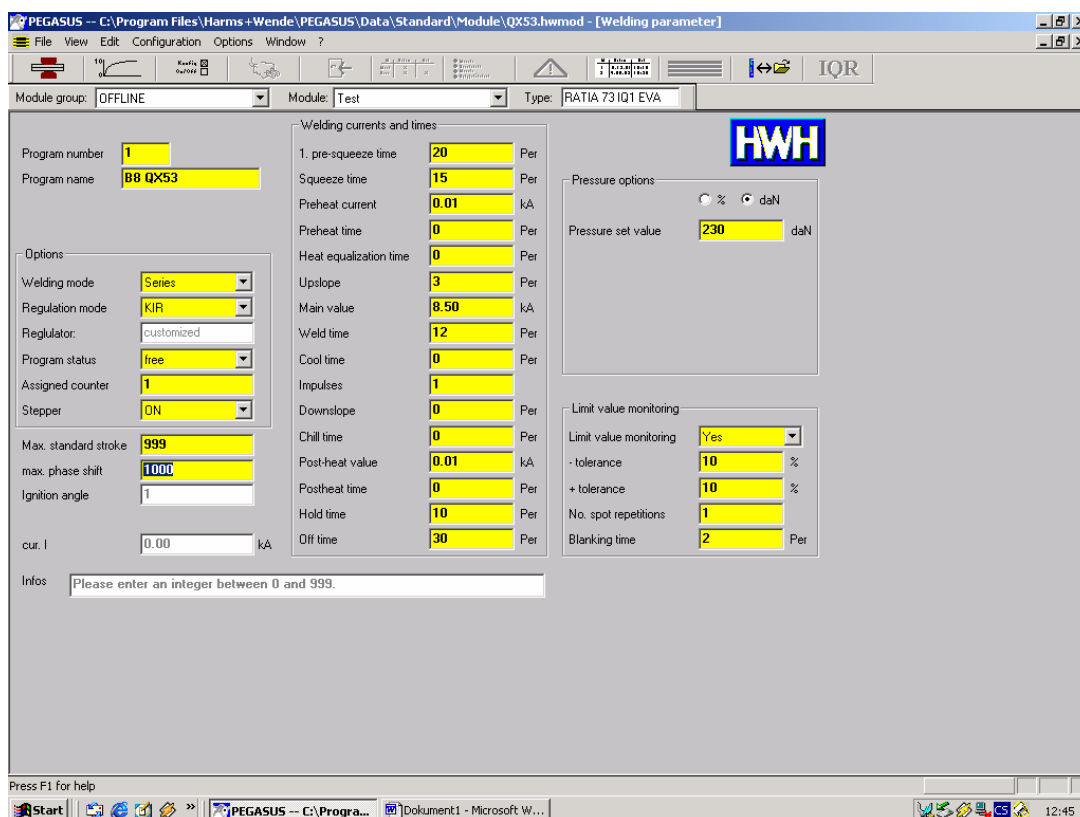
Moderní elektronické systémy umožňují nastavení různých svařovacích časů při svařování. Mezi hlavní patří svařovací čas, doba náběhu a poklesu svařovacího proudu tzv. svařování, doba přestávky mezi jednotlivými pulsy, doba dotlaku svařovacích kleští a další.



Obr. 14: Časový průběh svařovacího programu se spec. impulsy



Obr. 15: Svařovací program s jedním impulsem

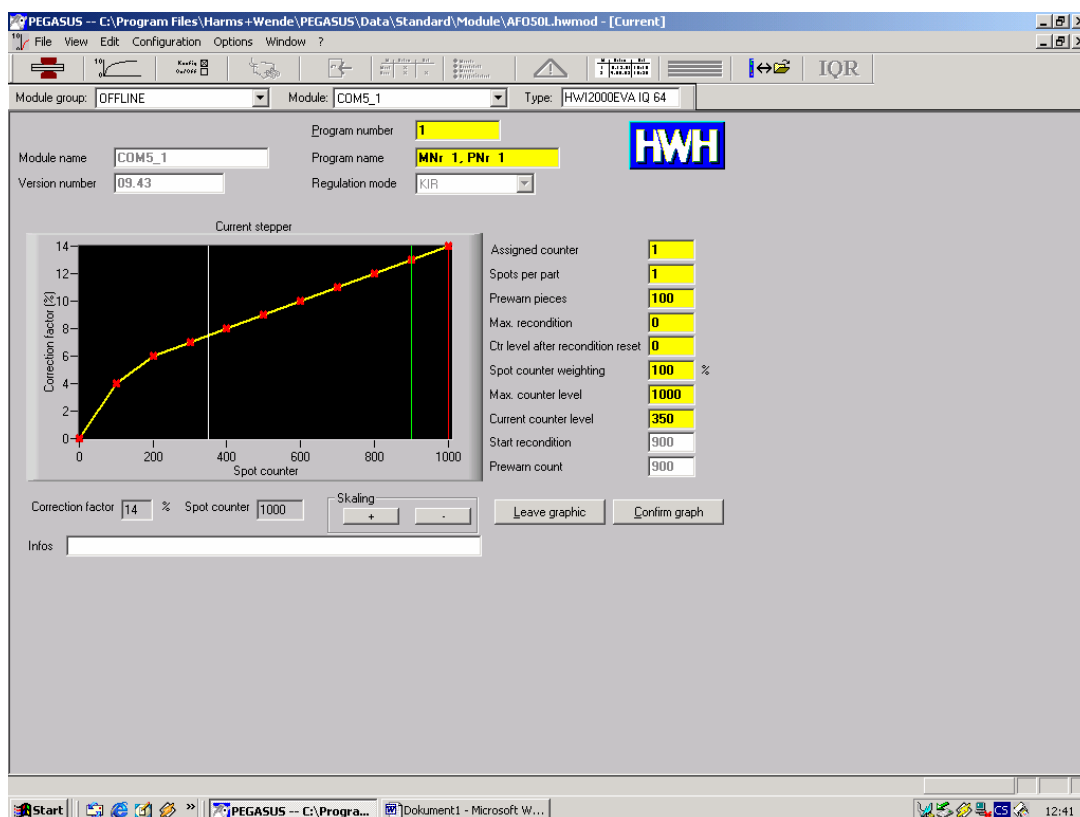


Obr. 16: Programování svařovacích parametrů v Pegasusu od firmy HWH

#### 4/ kroková funkce neboli STEPR

Nastavení krokové funkce je velmi důležité z hlediska kvality svařovacího procesu. Kroková funkce nám umožňuje v závislosti na počtu provedených bodů zvyšovat svařovací proud a svařovací tlak mezi elektrodami. Její průběh může být lineární nebo částečně lineární viz. obr. 17. V automobilovém průmyslu při svařování pozinkovaných plechů volíme počet bodů na hodnotu 1000 při zvýšení svařovacího proudu o 20 %. Zvýšení proudu je důležité z důvodu trvalé deformace dosedací plochy elektrody. Změna průměru má vliv na proudovou hustotu a to se projeví na průměru svarové čocky. Zvyšování svařovacího tlaku mezi elektrodami se v praxi nepoužívá. Tato hodnota je po celou dobu životnosti konstantní.





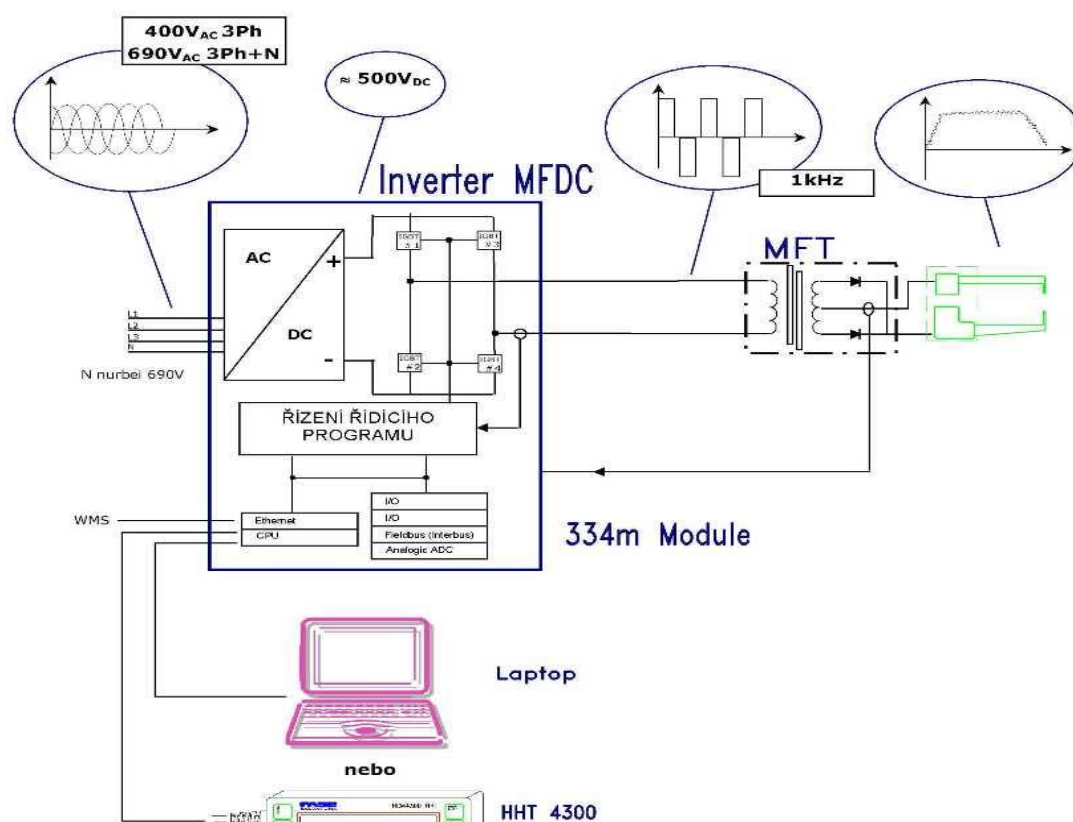
Obr. 17. Grafické znázornění krokové funkce v programu Pegasus od firmy HWH.

### 5/ svařovací tlak elektrod

Svařovací síla u pneumatického systému se mezi elektrodami reguluje proporcionálním ventilem, který je ovládán vstupním napětím 0 – 10 [V]. Je možné zadávat přímo napěťovou hodnotu nebo požadovanou sílu v jednotkách [N]. V druhém případě je nutno provést kalibraci proporcionálního ventilu, aby požadované hodnoty odpovídaly skutečnému tlaku mezi elektrodami. Pokud by svařovací síla byla velmi malá nedojde ke svaření materiálu, ale v místě průchodu svařovacího proudu bude trhлина nebo díra. U servomotorických kleští je síla vyvozena servomotorem a celý proces je obsluhován samostatným řízením a speciálním softwarem dodaným od výrobce. Ve většině případu se provede kalibrace přítlačného systému a potom se již zadávají požadované hodnoty přítlačné síly  $F$  [ N ].

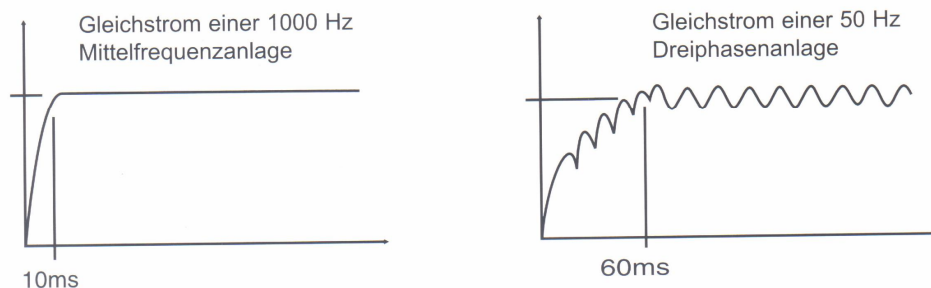
## 5.3 Středofrekvenční řízení 1000 Hz

Základní princip středofrekvenčního řízení je patrný z obr.18



Obr. 18: Schéma středofrekvenčního invertoru a možnosti řízení

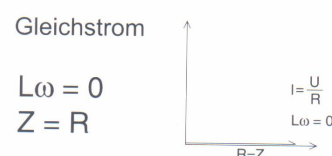
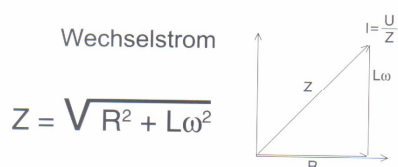
Mezi hlavní přednosti střední frekvence patří rychlost nárůstu proudu na požadovanou hodnotu s minimálním zvlněním jak je vidět na obr. 19. Velmi dobře se dá nastavit tzv. svahování proudu při náběhu a poklesu. Tímto způsobem při svařovacím procesu přesně řídíme průběh svařovacího proudu a celkové teplo vyvolané průchodem svařovacího proudu odpovídá hodnotě nutné pro vytvoření bodového spoje. Další nespornou výhodou je menší celková impedance ( $Z$ ) svařovacího okruhu. Při středofrekvenčním svařování je sekundární výstup z transformátoru usměrněn a tím odpadá vliv indukčního okna svařovacích ramen. Výpočet impedance je znázorněn pomocí fázorového diagramu na obr. 20. Z uvedených skutečností vyplývá menší energetická náročnost při odporovém svařování v návaznosti na dimenzování elektrického příkonu.



Obr. 19: Časový průběh svařovacího proudu

a/ technologie 1000 Hz

b/ technologie 50 Hz



Obr. 20: Zobrazení impedance pomocí fázorového diagramu

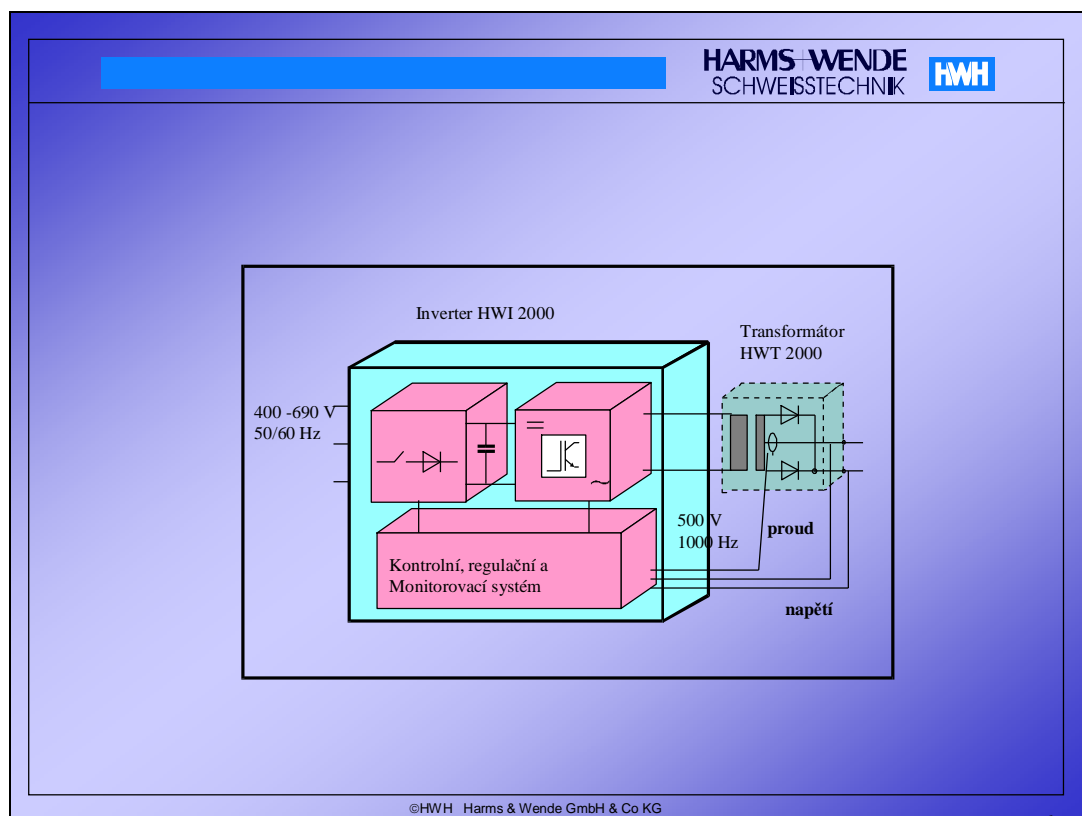
a/ technologie 50 Hz

b/ technologie 1000 Hz

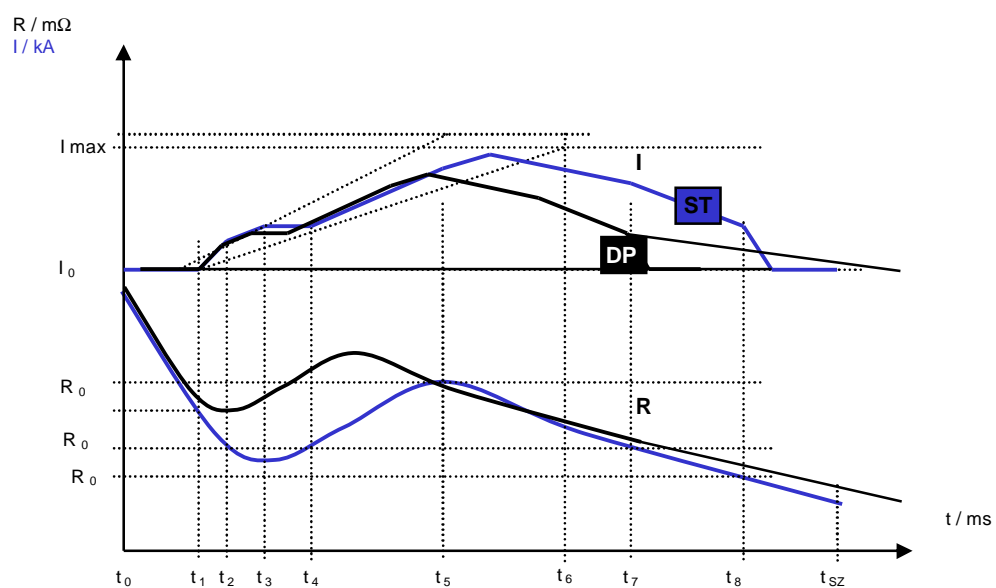
Uvedené výhody středofrekvenčních svařovacích kleští umožňují svařovat ocelové plechy s různými kovovými povlaky a hliníkové plechy.

## 5.4 Řídící svařovací systém s automatickou regulací

Vývoj řídicích systémů v odporovém svařování se snaží hledat způsob regulace svařovacího procesu v reálném čase v průběhu vzniku svaru. Na obr. 21 je znázorněn princip středofrekvenčního řízení s funkcí IQR od firmy HWH. Tyto svařovací systémy umožňují stanovit limity pro různé veličiny při odporovém svařování. Na základě nastavení řídicí systém monitoruje a zároveň pomocí procesoru vypočte hodnoty, které porovnává s nastavením pro odporové svařování. Pro základní výpočty jsou měřeny hodnoty svařovacího proudu a napětí. Pomocí Ohmova zákona je vypočten průběh odporu při svařování a na základě znalostí průběhu křivky odporu je možné zabránit výstřikům při odporovém svařování. Průběh odporu při odporovém svařování je znázorněn na obr. 22.

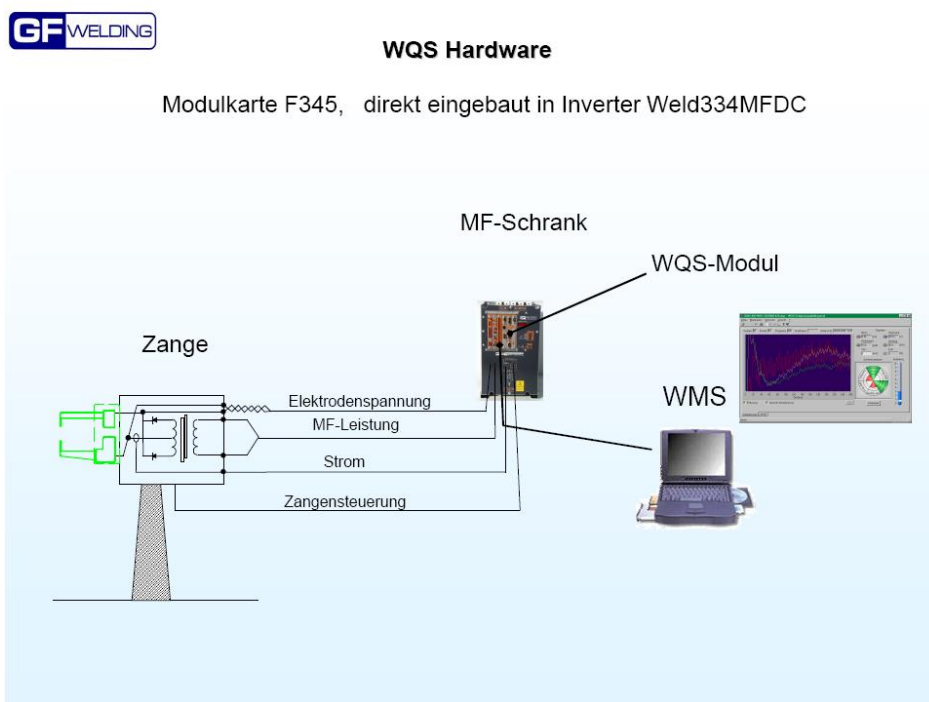


Obr. 21: Princip středofrekvenčního řízení s funkcí IQR



Obr. 22: Průběh odporu při odporovém svařování

Firma GF Welding vyvinula systém WQS. Tento systém je od roku 2006 standardně dodáván jako příslušenství svařovacího invertoru. V podstatě se jedná o elektronickou kartu s označením F345, která opět vyhodnocuje elektrické veličiny při odporovém svařování. Princip systému WQS je na obr. 23.



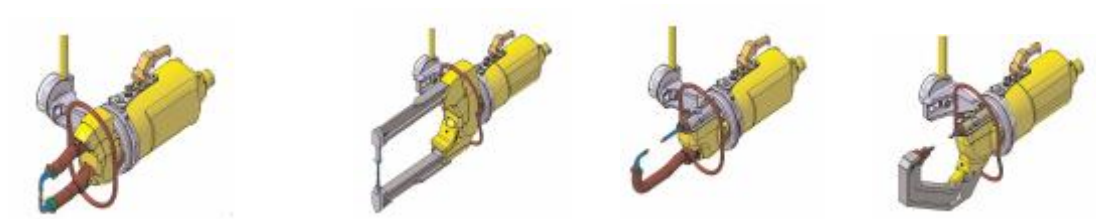
Obr. 23: Blokové schéma WQS od firmy GF Welding

Posledním systémem pro regulaci a řízení odporového svařování je systém od firmy HWH. Tvůrce systému je pan Frank Nowak a řešení se jmenuje **PQS**. Systém umožňuje sledovat průběh proudu, napětí, odporu, tepelné expanse a svařovací síly v závislosti na čase. Odpovědný pracovník za kvalitu má širokou škálu možností nastavení při sledování průběhu odporového svařování. Hlavně má možnost tyto provedené svary dokumentovat a jejich kvalitu doložit průběhem zmíněných veličin v závislosti na čase. S tímto systémem by bylo velmi dobré se seznámit prakticky.

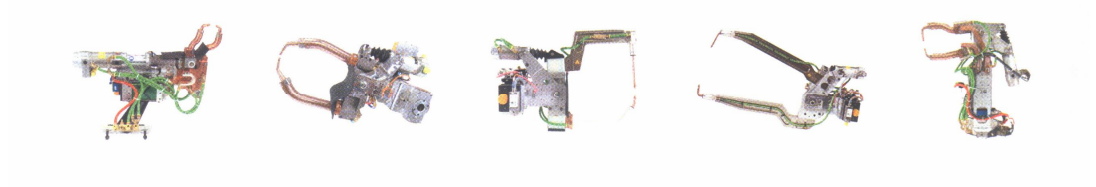
## 6.0 Popis svařovacího zařízení

V automobilovém průmyslu se svařovací kleště dělí na ruční a robotové. Toto rozdělení je jednoznačné a velmi praktické obr. 24 a obr. 25

### 6.1 Rozdělení svařovacích kleští



Obr. 24: Ruční svařovací kleště ARO



Obr. 25: Robotové svařovací kleště

### 6.2 Středofrekvenční kleště

Další rozdělení je podle pracovní frekvence transformátoru buď 50 [Hz] nebo 1000 [Hz] tzv. středofrekvence. U středofrekvenčních kleští je pracovní kmitočet 1000 [Hz].

### 6.3 Silový systém svařovacích kleští

Při odporovém svařování je nutno vyvodit velkou přítlačnou sílu mezi elektrodami. Ve většině případů se z ekonomických důvodů používá pneumatika. Kleště jsou vybaveny pneumatickým válcem, který se dimenzuje s 20 % rezervou pro požadovaný tlak mezi elektrodami. Toto konstrukční řešení má vliv na statické a dynamické charakteristiky svařovacích kleští a tyto charakteristiky ovlivňují výslednou kvalitu bodového spoje. Dynamické charakteristiky se sledují ve dvou fázích při průběhu svařovacího procesu.

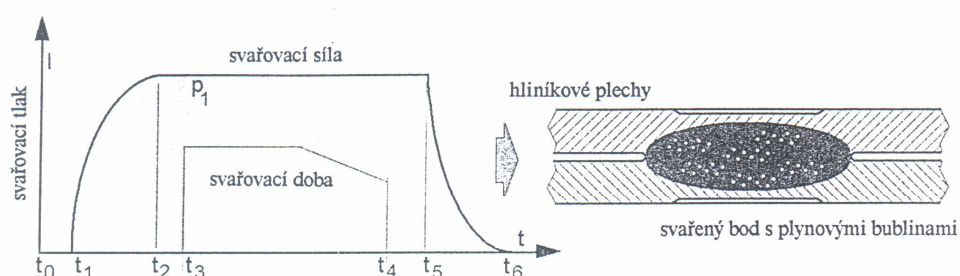
1/ při dosedu elektrod v počáteční fázi svařovacího procesu

2/ při průchodu elektrického proudu

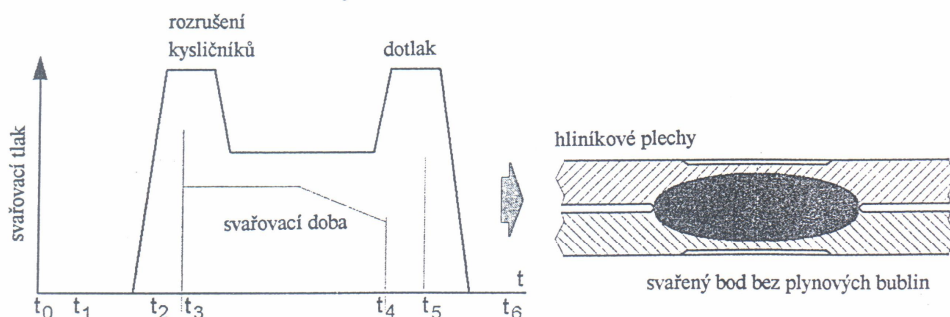
U pneumatických kleští se nastavuje jedna konstantní hodnota tlaku, která je stejná pro všechny fáze svařovacího procesu jako je fáze průchodu proudu a případně dotlak. Technicky je možné provést změnu tlaku pomocí proporcionálního ventilu. U řízení FASE je možno nastavit pět různých režimů, kde je předem stanoven průběh svařovací síly během svařovacího procesu. Svařovací síla má vliv na životnost svařovacích elektrod.

Pro zlepšení dynamických vlastností silového systému je možná náhrada za pneumatický systém zvolit servomotor. Dosažení proměnné síly umožňují díky krátké reakční síle servomotoru. Při 40 [ms] zvýší servomotor svařovací sílu od 0 % na 100 % obr. 26.

**Svařování s pneumaticky dosaženou svařovací silou**



**Svařování s elektromotoricky dosaženou svařovací silou**



Obr. 26: Svařování s pneumaticky a elektromotoricky dosaženou svařovací silou

## 7.0 Vysokopevnostní plechy

Z názvu kapitoly již vyplývá, že hlavním tématem této kapitoly budou pevnostní charakteristiky materiálu. V automobilovém průmyslu dochází k velkému rozšíření těchto pevnostních a vysokopevnostních materiálů. Důvodem jsou stále rostoucí požadavky na pevnost karoserie a na řízenou

deformaci při nehodě. Na základě těchto požadavků jsou při výrobě zastoupeny ocelové plechy mikrolegované, DP, Trip, CPW oceli a díly tvářené za tepla.

Hlavní snahou konstruktérů je zajistit maximální bezpečnost posádky, pokud dojde k nehodě. Tyto schopnosti vozu se testují podle směrnic nezávislé zkušební organizace Euroncap. Zde se provádějí zkušební testy na čelní náraz, boční náraz a ochrana chodců. U čelního nárazu je důležité zachytit maximum nárazové energie deformací přední části vozu až po A sloupek. Další části karoserie musí zůstat ve stavu, který zaručí bezpečnost posádky. Pro dimenzování struktury karoserie je třeba si objasnit silové toky, které procházejí karoserií při nárazu. Celkem 75 % silových toků při čelním nárazu prochází podlahovou částí, tedy prahem, podlahou a tunelem. Další výrazný silový tok vede přes A sloupek i zde je stabilita zajištěna použitím vnitřních výztuh z vysokopevnostního plechu. Základem struktury zajišťující ochranu proti bočnímu nárazu je výztuha B sloupku termomechanicky zpracovaná. U těchto dílů je smluvní mez kluzu přesahující 1100 [MPa].

## 7.1 Termomechanicky zpracované oceli

Termomechanické zpracovávání oceli je způsob výroby polotovárů, který se začal používat a na základě hlubších teoretických znalostí z teorie dislokací [4]. Zavedením termomechanického zpracování se dosáhlo další zjemnění zrna, zvýšení pevnosti a plastických vlastností. Termomechanického zpracování se dosahuje řízenou kombinací tvářením materiálu s jeho fázovými a strukturními přeměnami. Termomechanicky se mohou zpracovávat téměř všechny polymorfní oceli. Současné zvýšení pevnostních a plastických vlastností lze dosáhnout u nízkolegovaných a střednělegovaných ocelí s obsahem uhlíku 0,4 a 0,6 hm. % [8].

**Základní způsoby termomechanického zpracování jsou:**

**1. Termomechanické zpracování niobem nebo vanadem legovaných mikrolegovaných jemnozrnných ocelí metodou řízeného válcování.** Řízením teploty, času a úběru při válcování dostaneme velmi jemné austenitické zrna, které při rychlém ochlazení transformuje na



jemnozrnný ferit s vysokými hodnotami meze kluzu a nízkou tranzitní teplotou.

## **2. Termomechanické zpracování deformací před transformací.**

Tento způsob je nejběžnější a lze rozdělit na vysokoteplotní a nízkoteplotní termomechanické zpracování.

**3. Deformace během transformace.** Termomechanického zpevnění oceli se dosáhne po rychlém ochlazení z austenitizační teploty v průběhu perlitické transformace při teplotách 600 až 700 [°C] s následným ochlazením na vzduchu.

**4. Deformace po transformaci.** Tento způsob se vyznačuje malou deformací martenzitu za studena mezi prvním a druhým popouštěním. Tímto zpracováním lze dosáhnout zvýšení meze kluzu při současném poklesu hodnot tažnosti a lomové houževnatosti.

## **7.2 Svařitelnost termomechanicky zpracovaných ocelí**

Vlivem teplotního cyklu při svařování dojde ke změně mechanických vlastností v TOO bodového spoje. Nastává pokles meze pevnosti, meze kluzu a tvrdosti v pásmu částečné překrystalizace TOO. Velikost TOO je závislá na tepelném příkonu odporového svařovacího stroje. Pro minimalizaci tepelného příkonu je nutno kvalitně volit svařovací parametry s ohledem na kvalitu svarového spoje a celkovou životnost svařovacích elektrod.

## **8.0 Cíle diplomové práce**

Současný trend zvyšování podílu vysokopevnostních ocelových plechů při výrobě karoserií přetrvává a dle mého názoru se podíl těchto materiálů na skladbě karoserie v budoucnu bude zvyšovat. Je to dáno především silícím tlakem na bezpečnost cestujících a tyto materiály umožňují konstruktérům splnit náročné požadavky zákazníků.

V praxi bodového odporového svařování vysokopevnostních termomechanicky zpracovaných ocelových plechů je nutno řešit některé specifické problémy vyplývající z metalurgických zvláštností svařovacího procesu. V praxi nastávají kombinace svařování ocelových plechů pozinkovaných s běžnými mechanickými charakteristikami s ocelovým plechem TMZ o odlišné tloušťce. Na základě certifikačních procesů ve výrobě je prvořadým požadavkem zajistit kvalitu svarových spojů především v souvislosti s rychle postupujícím opotřebením svařovacích elektrod. Pracovníci pracující u ručních svařovacích kleští nebo obsluha u robotizovaných pracovišť nemůže objektivně posoudit všechny náhodně působící rušivé vlivy, ani soustavně působící faktory způsobující rozptyl hodnot kvality svarů a pokles kvality svarů pod přípustnou mez. Na základě těchto důvodů je potřeba implementovat do výrobního procesu monitorovací systémy, které jsou schopny zajistit požadovanou kvalitu prováděných svarů a v reálném čase provádět korekce elektrických i neelektrických veličin při odporovém bodovém svařování. Ve většině případů řídicích systémů odporového svařování se jedná pouze o monitoring procházejícího svařovacího proudu, ale tento systém je z hlediska požadavků na kvalitu nedostačující. Ve své praxi jsem se několikrát přesvědčil, že procházející svařovací proud byl v nastavených tolerančních mezích a provedený svar byl nevyhovující nebo případně došlo pouze k natavení ochranných povlaků ocelového plechu.

V souladu s uvedenými poznatky bude diplomová práce zaměřena na studium souvislostí vybraných veličin svařovacího procesu se zřetelem na provedenou kvalitu svarů a stanovení diagramu oblasti svařování.

#### **Diplomová práce je zaměřena na:**

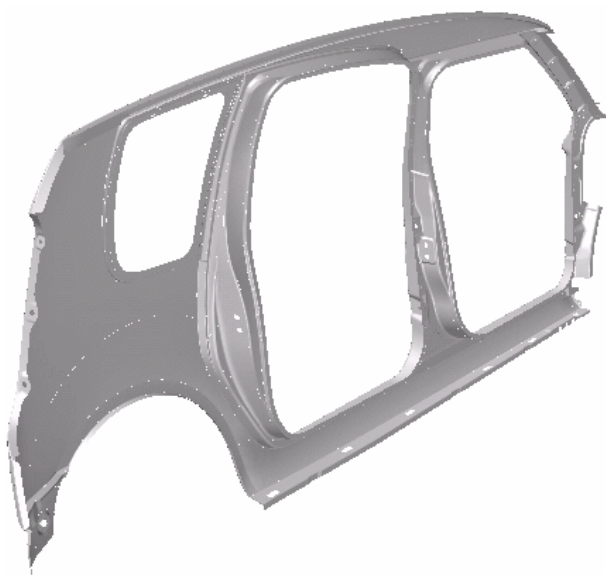
1. Stanovení diagramu oblasti svařování TMZ ocelových plechů:
  - a) při konstantní elektrodové síle
  - b) při konstantní době svaru
2. Z diagramu oblasti svařování zvolit nejvhodnější svařovací parametry a provést stříhovou zkoušku dle normy ČSN EN ISO 14273 a odlupovací zkoušku dle normy ČSN EN ISO 14270.
3. Provést metalografický výbrus.

## 9.0 Metodické postupy zpracování diplomové práce

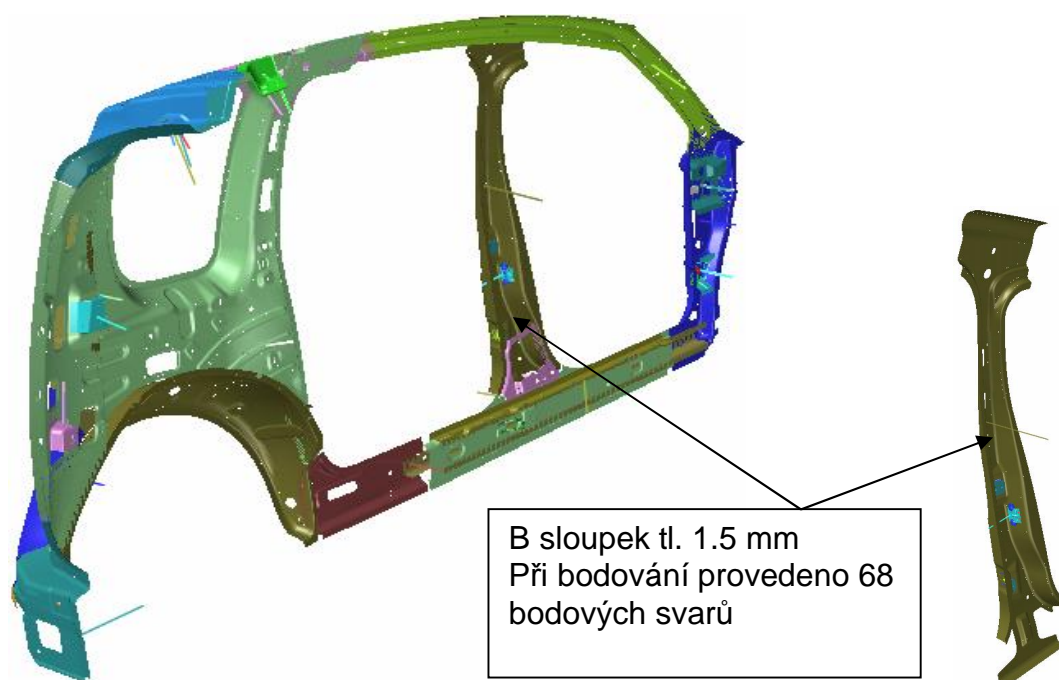
### 9.1. Volba základního materiálu pro experimentální měření

Pro experimentální měření jsem zvolil základní materiál vysokopevnostní plech termomechanicky zpracovaný o tloušťce 1,5 mm. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v příloze č. 2. Pro srovnání uvedu maximální mez pevnosti, která činí  $1300 + 500 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  viz. příl. č. 2. Protikusem bude ocelový hlubokotažný plech použitý na díl rám dveří viz. obr. 27. Tloušťka plechu je 0,8 [mm] a jeho maximální mez pevnosti je 350 [N/mm<sup>2</sup>]. Materiálový list je uveden v příloze č. 2. Při této kombinaci plechů je patrné, že bude při odporovém svařování docházet k porušení tepelné rovnováhy bodového svaru [9].

Tuto kombinaci svařovaných materiálů jsem jsi vybral záměrně, protože v praxi se velmi často svařují ocelové plechy o různé tloušťce. Tato kombinace se nachází při výrobě postranice vozu Roomster jak je uvedeno na obr. 28.



Obr. 27: Rám levých dveří vnější část



Obr. 28: Vnitřní díl levé postranice

## 9.2 Svařovací pracoviště a metody měření elektrických veličin odporového svařování

Experimentální měření bylo provedeno na svařovacích kleštích ARO typu XMV 36 12A 30U52. Řídicí systém svařování byl použit od firmy GF Welding. Jedná se o typ WELD 334m s verzí softwaru 1.08A. Pro analýzu a záznam elektrických veličin byl použit měřicí přístroj od firmy Myachi Peco MG3 digital. Podrobný popis měřicího přístroje je uveden v příloze č. 4. Toto zařízení umožňuje záznam elektrických veličin. Při experimentálním měření jsem zaznamenával tyto veličiny :

- a/ svařovací proud ( maximální a efektivní hodnotu )
- b/ svařovací napětí ( maximální a efektivní hodnotu )
- c/ průběh elektrického odporu

Vždy před svařováním prvních vzorků byla kontrolována svařovací síla mezi svařovacími elektrodami. Měření bylo prováděno přístrojem TECNA TE 1460.

### 9.3 Praktický postup při provádění experimentálního měření

Postup měření vychází z normy ČSN EN ISO 14327 Odporové svařování – Způsoby určení diagramu oblasti svařování při odporovém bodovém, výstupkovém a švovém svařování [10].

#### Měření č. 1a:

Diagram oblasti svařování se stanoví ze série růstových křivek svaru při konstantní elektrodové síle 3 000 [N]. Tuto sílu jsem určil ze série provedených zkušebních svarových bodů, když jsem hledal mezní hodnoty svařovacího proudu a času pro různé kombinace volených svařovacích parametrů. Základním kritériem pro stanovení mezí je kvalita svarového bodu posuzovaná dle normy VW 011 05-1 [4]. Zde je stanoven minimální průměr svarového bodu pro tloušťku plechu 0,8 [mm] na hodnotu 3,6 [mm]. Tato hodnota bude v grafech růstových křivek vyznačena jako minimální průměr svarového bodu a je to tedy první okrajová podmínka. Druhá mezní hodnota při stanovení růstových křivek je mez rozstřiku.

Z těchto experimentů jsem stanovil pro sestavení diagramu oblasti svařování celkem 8 svařovacích časů  $t_1 - t_8$ . Svařovací parametry jsou uvedeny vždy v tabulce u příslušného grafu růstové křivky. Pro stanovení diagramu oblasti svařování při konstantní elektrodové síle jsem provedl celkem 480 svařovacích bodů a sestavil osm růstových křivek. Pro každou růstovou křivku bylo provedeno 60 svarových bodů na vzorky ocelového plechu o rozměrech 300 x 240 [mm] a vždy s novými svařovacími elektrodami. Před měřením jsem vždy provedl 50 svařovacích bodů z důvodů vytvoření dosedací plochy elektrod. Interval svařovacího proudu byl stanoven na 500 [A]. Pro kvalitativní stanovení růstové křivky jsem zvolil deset hodnot svařovacího proudu lineárně vzrůstajících. Přičemž na nastavené svařovací parametry bylo provedeno 6 svarových bodů a následně po provedení destrukční zkoušky vypočten aritmetický průměr naměřených hodnot rozměrů svarového bodu. U každé růstové křivky jsem provedl důkladnou analýzu průběhu elektrických veličin a provedl regresní analýzu jednotlivých bodů křivky. Z těchto osmi růstových křivek jsem sestavil výsledný diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle. Při provádění experimentu

jsem zaznamenával veškeré elektrické veličiny pomocí měřicího zařízení Myachi Peco MG3 digital a zároveň jsem numerické hodnoty zaznamenával v laptopu pomocí softwaru WinWeld V3. 07 v excel formátu. Tyto naměřené hodnoty jsou uvedeny v elektronické podobě na CD. Na závěr tohoto prvního měření jsem sestavil diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle viz. graf č. 3 .

#### **Měření č. 1b:**

Cílem druhého měření bylo opět dle normy ČSN EN ISO 14327 [10] stanovit diagram oblasti svařování při konstantní době svaru. Měnicí se parametr byla svařovací síla. Pro kvalitní sestavení diagramu oblasti svařování jsem zvolil osm růstových křivek  $F_1 - F_8$ . Konstantní parametr byl svařovací čas a ten jsem určil z průběhu růstových křivek při měření č.1a o velikosti 12 [per]. Praktický postup byl shodný jako u měření č. 1a. První hodnotu svařovací síly jsem zvolil o velikosti 760 [N]. Druhá hodnota byla stanovena na 1200 [N] a dále jsem již zvyšoval svařovací sílu vždy o 600 [N]. Měření č. 1b jsem ukončil při hodnotě 4 800 [N]. Tento počet růstových křivek je dostatečný pro vytvoření diagramu oblasti svařování při konstantní době svaru. Všechny hodnoty jsou zaznamenány do tabulek a vždy je vytvořen graf pro každou růstovou křivku. Hranice rozstříku byla hodnocena vizuálně třemi pozorovateli.

#### **Měření č. 2:**

Pro analýzu mechanických vlastností svarového spoje je nutno provést tyto zkoušky:

- 1/ stříhová zkouška dle normy ČSN EN ISO 14273 [5]
- 2/ odlupovací zkouška dle normy ČSN EN ISO 14270 [6]

Pro stříhovou zkoušku jsem svařil celkem 15 vzorků. Ze svařovacích parametrů jsem měnil pouze svařovací sílu. Přehled svařovacích parametrů pro jednotlivé vzorky je uveden v tabulce č. 3.

**Tab. 3: Svařovací parametry pro stříhovou zkoušku**

Vzorek č.	I [kA]	t [per]	F [N]
1, 2, 3	7	14	760
4, 5, 6	7	14	1 200
7, 8, 9	7	14	1 800
10, 11	7	14	2 400
12, 13	7	14	3 000
14, 15	7	14	3 600

Odlupovací zkoušku jsem provedl pouze na třech vzorcích. Svařovací parametry těchto vzorků jsou stanoveny z předcházejícího měření č.1. Základní parametry jsou  $I = 6$  [kA],  $t = 12$  [per],  $F = 2\,400$  [N]. Kompletní výpis svařovacích parametrů je v příloze č. 1. Zkoušky byly provedeny na trhacím stroji Zwick 250 [kN]. Cílem měření je stanovení tahové síly  $F$  pro destrukci svarového spoje.

**Měření č. 3:**

Metalografický výbrus je prováděn z důvodu zjištění trhlin a pórů při odporovém svařování. Při makrostrukturním rozboru bude pozorováno promíšení materiálu ve svarové čočce, šířka a charakter teplem ovlivněné zóny. Dále bude proveden mikrostrukturní rozbor pro stanovení velikosti zrna. Měření bude provedeno optickým mikroskopem SZX 10 Olympus. Pro metalografický výbrus byly zhotoveny dva vzorky.

## 10.0 Vyhodnocení měření – diskuse

### 10.1 Vyhodnocení souboru měření č.1a

Na základě naměřených hodnot jsem vypracoval osm jednotlivých růstových křivek. Všechny osm růstových křivek včetně tabulek je uvedeno v příloze č. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 a 12. Pro důkladný popis zde uvádím růstovou křivku  $t = 12$  [per], která je také uvedena v příloze č. 8. V tabulce č. 4 jsou uvedeny proudové hodnoty svařovacího proudu a ve stejném řádku šest hodnot průměru svarového bodu. Z naměřených šesti hodnot je vypočtena průměrná hodnota svarového bodu. Tato hodnota je použita pro sestavení růstové křivky na ose  $y$ . Růstová křivka pro svařovací čas  $t = 12$  [per] je znázorněna v grafu č. 1.

Tento soubor měření jsem uvedl záměrně, protože průměrné hodnoty svarového bodu kromě jedné hodnoty, leží nad okrajovou podmínkou 3,6 [mm] stanovenou dle normy VW 011 05 – 1 [4]. Hranice rozstřiku byla dosažena při hodnotě 8 [kA] a průměr svarového bodu byl 6,0 [mm].

Růstová křivka  $t = 6$  [per] znázorněna v příloze č. 5 má velmi úzkou oblast splňující mezní hodnoty. V dané oblasti jsou pouze čtyři body. Je to dáno velmi krátkým svařovacím časem 6 [per]. Hodnota rozstřiku byla pozorována při 9 [kA] a průměr svarového bodu byl 4,5 [mm]. Růstová křivka  $t = 8$  [per] znázorněna v příloze č. 6 nemá strmý průběh, ale počet bodů vyskytující se ve vyhovující oblasti je sedm. Hranice rozstřiku byla dosažena při hodnotě 9 [kA] a průměr svarového bodu byl 5,0 [mm]. Podobný průběh má také růstová křivka  $t = 10$  [per] uvedena v příloze č. 7. Křivka  $t = 14$  [per] uvedena v příloze č. 9 má po provedení regrese ideální průběh. Oblast okrajových podmínek je dostatečně široká. Hranice rozstřiku byla dosažena při hodnotě 8 [kA] a průměr svarového bodu byl 6,3 [mm]. Z hlediska teorie odporového svařování a podle normy ČSN EN ISO 14327 [10] má růstová křivka  $t = 14$  [per] nejlepší průběh. Počet bodů splňující mezní hodnoty je šest. Růstová křivka  $t = 16$  [per] uvedena v příloze č. 10 má pozvolnější průběh než křivka  $t = 14$  [per]. I zde průměr svarového bodu nevykazuje pokles po předcházející hodnotě a počet bodů splňující podmínky je pět. Rozstřík byl dosažen při proudové hodnotě 7,5 [kA] a průměr svarového bodu byl 6,0 [mm]. Růstová křivka  $t = 18$  [per] popsána v příloze č. 11 má pět



bodů nacházející se v oblasti okrajových podmínek. Rozstřík byl pozorován při hodnotě svařovacího proudu 7,5 [kA] a průměr svarového bodu byl 6,4 [mm]. Poslední růstová křivka pro sestavení diagramu oblasti svařování je  $t = 20$  [per] uvedena v příloze č. 12. Na této křivce je zajímavé, že i přes nejdelší dobu svařování 20 [per] bylo dosaženo vyhovujícího průměru svarového bodu až u třetí řady bodů při hodnotě svařovacího proudu 5,5 [kA]. Po provedení regrese je průběh velmi dobrý. Hranice rozstříku byla dosažena při hodnotě 8 [kA] a průměr svarového bodu byl 6,5 [mm]. Svařovací čas je dle mého názoru však příliš dlouhý pro tuto kombinaci svařovaných materiálů.

Po důkladné analýze souboru měření č. 1a jsem stanovil jako nejvhodnější svařovací čas  $t = 12$  [per] neboli 240 [ms]. U všech osmi svařovacích dob jsem zaznamenal hranici rozstříku. Dále jsem osm růstových křivek vložil do jednoho grafu č. 2.

Cílem prvního měření č. 1a bylo stanovení diagramu oblasti svařování při konstantní síle 3 000 [N]. Tento diagram je znázorněn v grafu č. 3. Z diagramu oblasti svařování při konstantní elektrodové síle vyplývá pro stanovení oblasti WCR tj. nejlepších svařovacích parametrů při svařovací době  $t = 12$  a 14 [per]. Z tohoto důvodu jsem také vybral neoptimálnější hodnotu svařovacího času o velikosti 12 [per]. (Při prvotním nastavování svařovacích parametrů na svařovacích linkách tuto hodnotu svařovacího času používám nejčastěji). Diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle pro tento soubor jsem sestavil ze všech osmi růstových křivek. Z diagramu lze jednoznačně vyčíst svařovací parametry pro stanovení svařovacího proudu a času. Tyto hodnoty lze vyčíst pro jednotlivé růstové křivky a využít celý rozsah vodorovné křivky včetně limitních bodů znázorněné oblasti pro celý soubor měření č. 1a. Znázorněná oblast v grafu č. 3 jasně prezentuje možné svařovací parametry pro použitou variantu ocelových plechů.

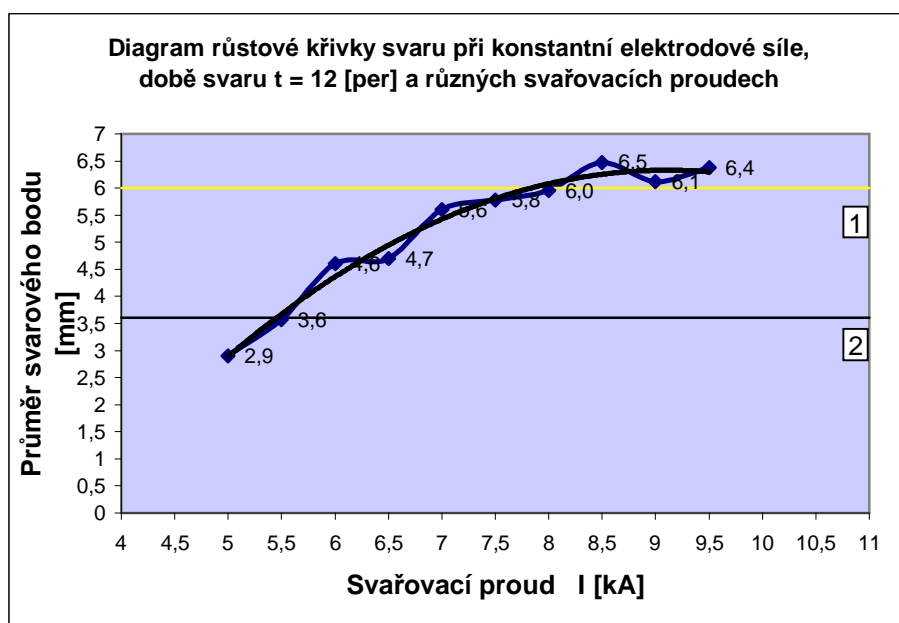
Tab. 4:

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 12$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [per]	Svařovací proud $I$ [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 12$ [per]	5,0	4,2	2,8	2,6	2,3	2,7	2,8	2,9
$t = 12$ [per]	5,5	3,6	3,5	3,6	3,5	3,7	3,5	3,6
$t = 12$ [per]	6,0	4,3	4,7	4,7	4,9	4,4	4,6	4,6
$t = 12$ [per]	6,5	4,6	4,5	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7
$t = 12$ [per]	7,0	5,4	5,4	5,7	5,6	5,6	5,9	5,6
$t = 12$ [per]	7,5	6,3	4,9	6,6	6,7	4,5	5,7	5,8
$t = 12$ [per]	8,0	5,6	6,4	5,6	6,0	6,5	5,6	6,0
$t = 12$ [per]	8,5	6,2	6,7	6,7	6,5	6,6	6,1	6,5
$t = 12$ [per]	9,0	5,8	6,6	7,0	6,2	5,6	5,5	6,1
$t = 12$ [per]	9,5	6,4	6,4	6,6	6,5	6,2	6,2	6,4

Legenda:

rozstřik

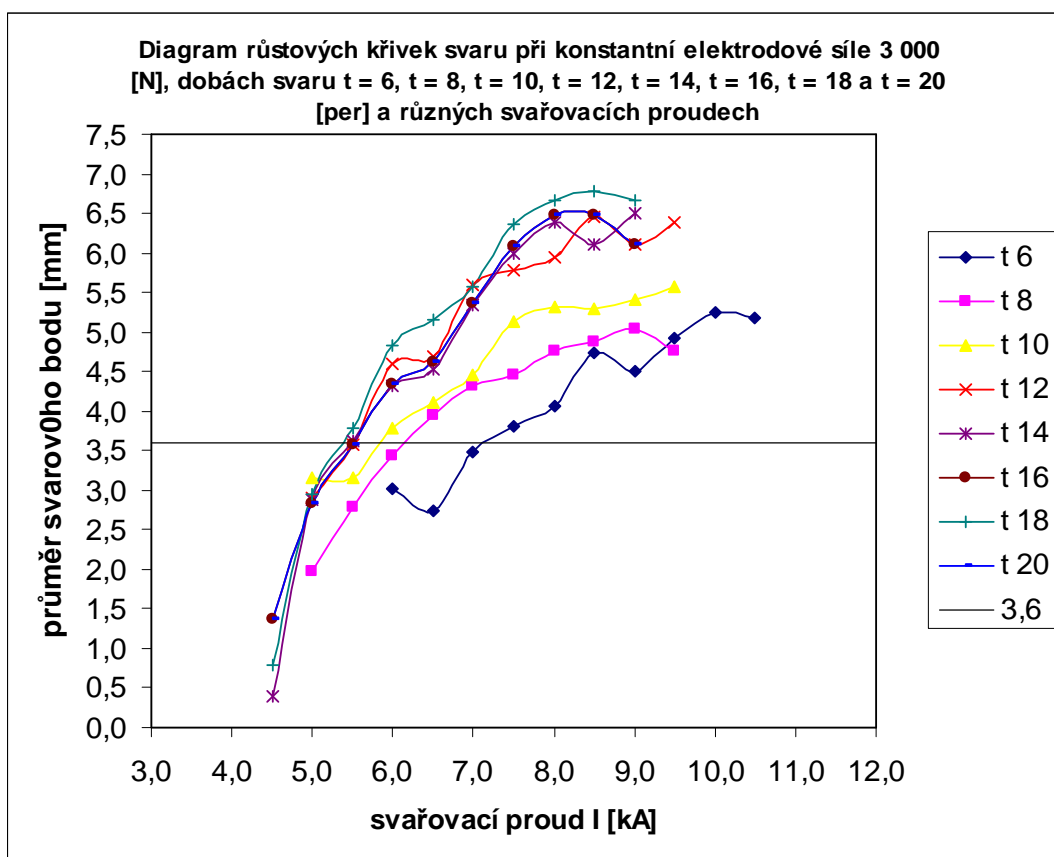


Graf 1: Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle 3 000 [N]

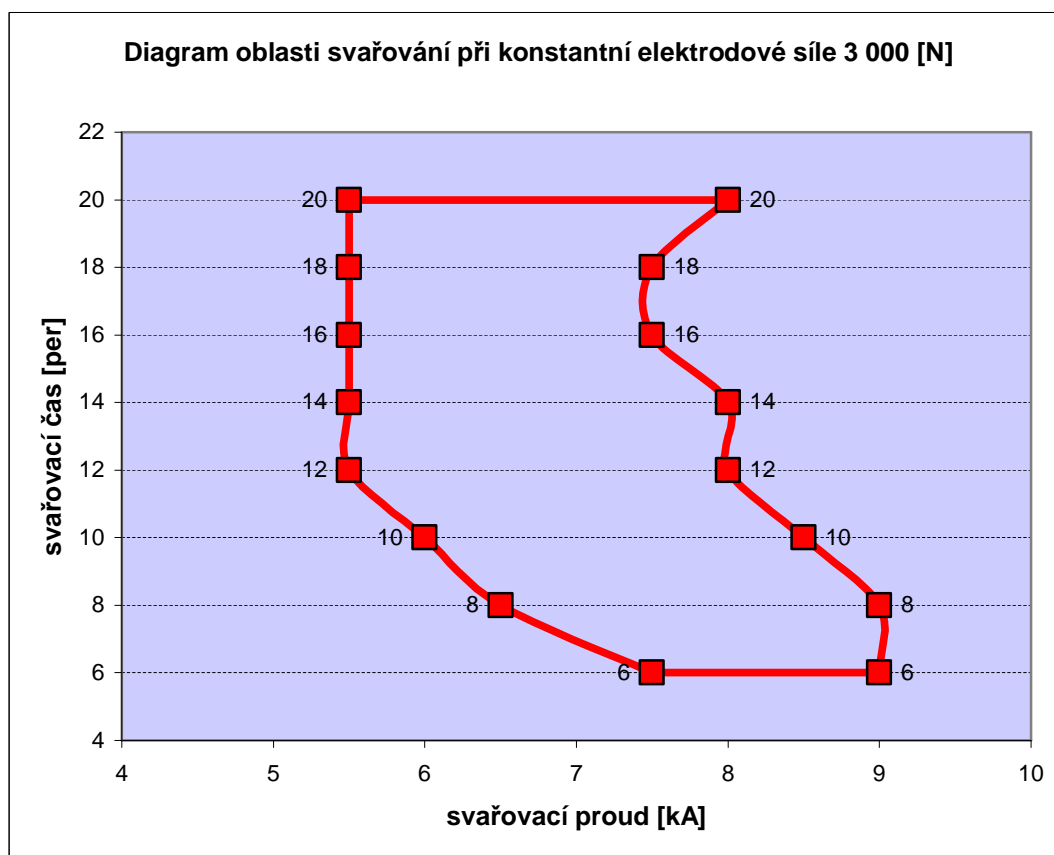
Legenda:

1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]



Graf 2: Diagram růstových křivek svaru při konstantní elektrodové síle



Graf č. 3 Diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle 3 000 [N]

## 10.2 Vyhodnocení souboru měření č.1b

Měření bylo založeno na nalezení nejvhodnějšího svařovacího tlaku. Pro kvalitní sestrojení diagramu růstových křivek jsem provedl celkem 480 svařovacích bodů. Pro objasnění přesného postupu měření č. 1b uvádím růstovou křivku s označením  $F = 2\,400$  [N]. V tabulce č. 5 je uveden svařovací tlak a hodnoty svařovacího proudu. Pro jednotlivé hodnoty svařovacího proudu jsem svařil vždy šest bodů a po provedení destrukční zkoušky byla vypočtena průměrná hodnota průměrů svarových bodů. Růstová křivka byla sestavena právě z těchto průměrných hodnot na ose y a na osu x jsem vynesl hodnoty svařovacího proudu viz. graf č. 4. Okrajové podmínky byly stanoveny dle normy ČSN EN ISO 14327 [10]. Jednak minimální průměr svarového bodu o velikosti 3,6 [mm] a hranice rozstříku vyznačena žlutě.

Růstová křivka  $F = 760$  [N] uvedena v příloze č. 13 je pozoruhodná, protože veškeré její body leží nad požadovaným minimálním průměrem svarového bodu 3,6 [mm]. Tato skutečnost mě překvapila, jelikož jsem to při tak malém svařovacím tlaku  $F = 760$  [N] neočekával. Hranice rozstříku byla pozorována při hodnotě 6,5 [kA]. Další růstová křivka  $F = 1\,200$  [N] uvedená v příloze č. 14 se opět nacházela nad minimální podmínkou a její průběh je podobný předcházející křivce. I zde byl pozorován rozstřík při hodnotě svařovacího proudu 6,5 [kA]. U třetí růstové křivky  $F = 1\,800$  [N] zobrazené v příloze č. 15 byla splněna okrajová podmínka u všech bodů křivky a rozstřík byl vyhodnocen při hodnotě 6,5 [kA]. Průběh růstové křivky  $F = 2\,400$  [N] popsané v příloze č. 16 se velmi přibližuje teorii o odporovém svařování. Rozstřík byl zaznamenán při hodnotě 7,0 [kA]. První tři body na růstové křivce  $F = 3\,000$  [N] uvedené v příloze č. 17 nesplnily požadovanou podmínku minimálního průměru svarového bodu. Rozstřík byl zpozorován při hodnotě 7,5 [kA]. U růstové křivky  $F = 3\,600$  [N] viz. příloha č. 18 se v první sérii prováděných bodů nevytvořila svarová čočka. Velmi malý průměr svarového bodu byl naměřen u druhé série o velikosti 0,5 [mm]. Rozstřík se vyskytl při hodnotě 8,0 [kA]. Tento trend nevytvoření svarové čočky při počátečních hodnotách svařovacího proudu pokračoval i u růstových křivek  $F = 4\,200$  [N] a  $F = 4\,800$  [N]. Průběh těchto křivek je znázorněn v přílohách č. 19 a 20.

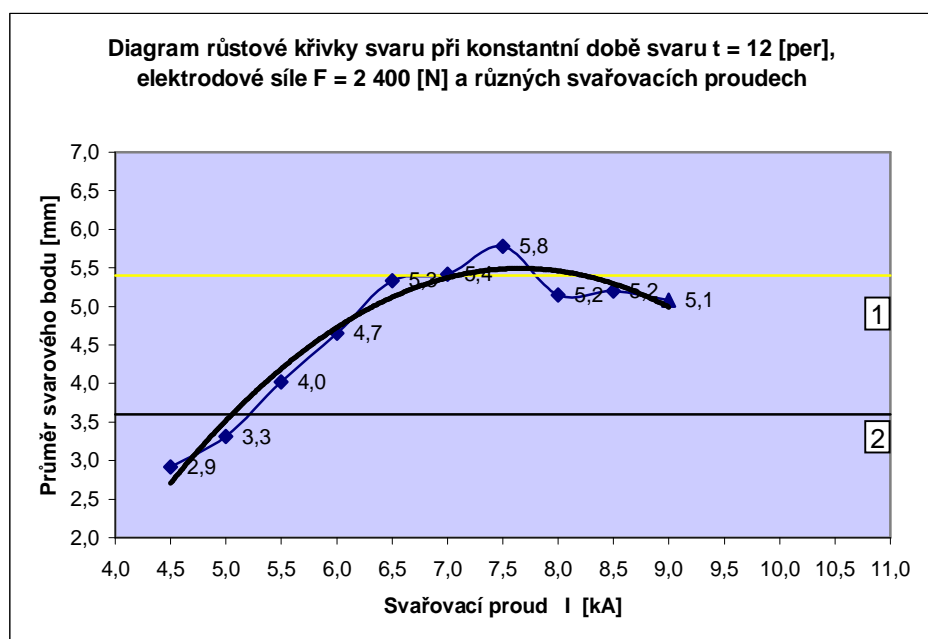
Tab. 5:

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t=12$  [per] , elektrodové síle  $F = 2\,400$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [ mm ]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 2\,400$ [N]	4,5	3,3	2,5	2,0	3,1	3,4	3,2	2,9
$F = 2\,400$ [N]	5,0	3,3	3,2	3,3	2,9	3,0	4,2	3,3
$F = 2\,400$ [N]	5,5	4,0	4,4	3,6	3,9	3,8	4,4	4,0
$F = 2\,400$ [N]	6,0	4,8	4,9	4,7	4,7	4,3	4,5	4,7
$F = 2\,400$ [N]	6,5	5,3	5,3	5,7	5,1	5,2	5,4	5,3
$F = 2\,400$ [N]	7,0	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	4,6	5,4
$F = 2\,400$ [N]	7,5	5,4	5,7	5,9	6,0	5,7	6,0	5,8
$F = 2\,400$ [N]	8,0	5,3	5,4	5,1	4,9	5,3	4,9	5,2
$F = 2\,400$ [N]	8,5	4,8	5,6	5,1	5,9	4,9	4,9	5,2
$F = 2\,400$ [N]	9,0	5,1	5,1	4,8	5,1	5,2	5,2	5,1

Legenda:

rozstřík

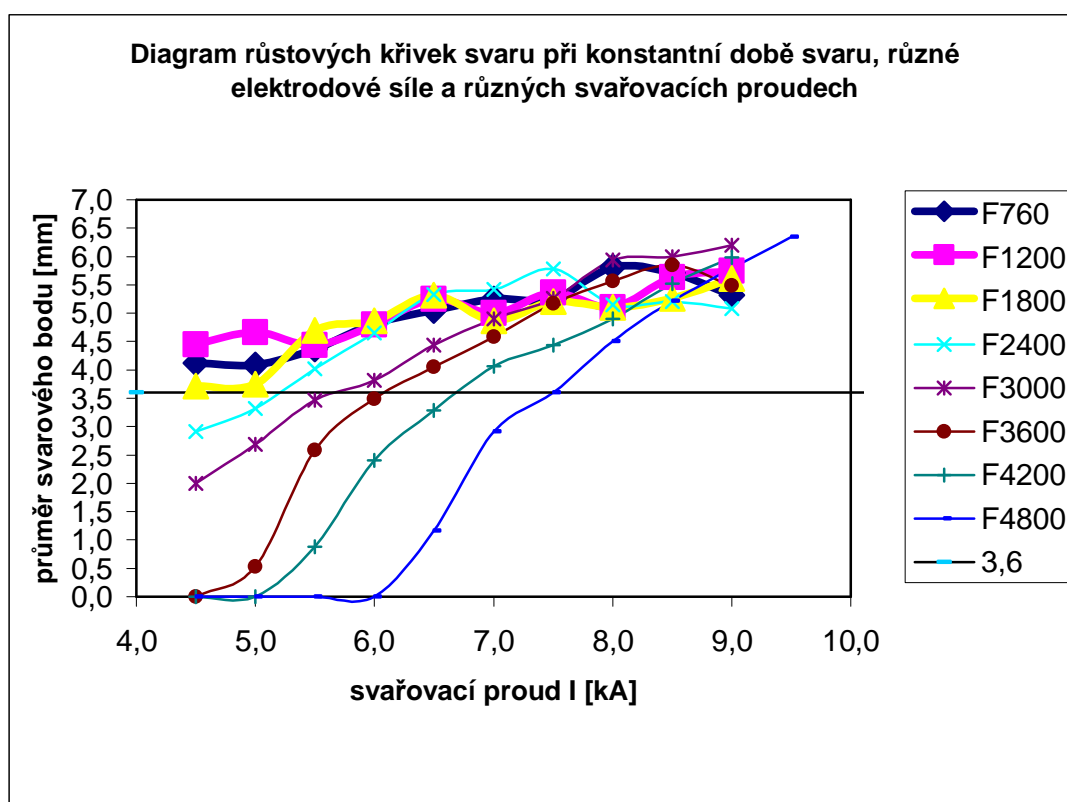
Graf 4: Diagram růstové křivky svaru při elektrodové síle  $2\,400$  [N]

Legenda:

1 Mez rozstříku

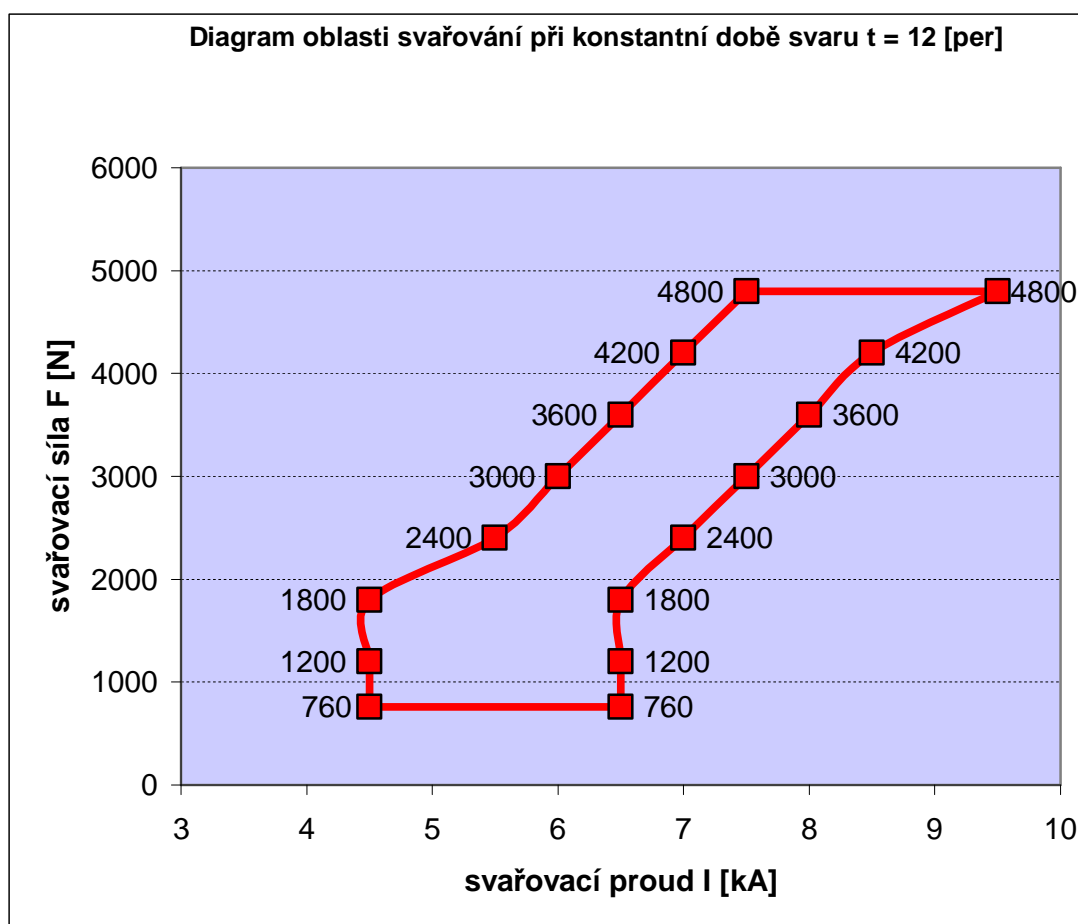
2 Minimální průměr svaru  $3,6$  [ mm ]

Po jednotlivých rozborech růstových křivek jsem všech osm křivek vložil do grafu č. 5. Z grafu č.5 vyplývá, že tři růstové křivky se nacházejí nad minimální hodnotou průměru svarového bodu. Jsou to růstové křivky  $F = 760$  [N],  $F = 1\,200$  [N] a  $F = 1\,800$  [N] v grafu č.5 jsem je zvýraznil tučnou kurzívou.



Graf 5: Diagram růstových křivek svaru při konstantní době svařování

Cílem měření č.1b bylo stanovení diagramu oblasti svařování při konstantní době svaru a různé svařovací síle. Tento diagram je znázorněn v grafu č. 6. V diagramu oblasti svařování jsou dvě nejvhodnější křivky  $F = 1\,200$  [N] a  $F = 1\,800$  [N] z hlediska šíře použitelného pásma volených svařovacích parametrů.

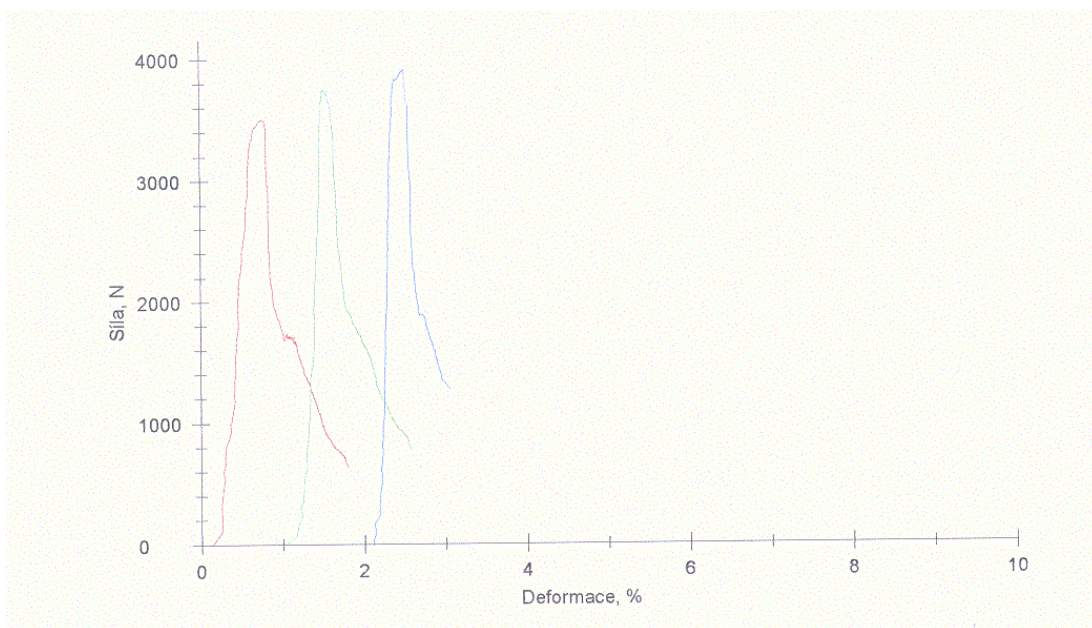


Graf 6: Diagram oblasti svařování při konstantní době svaru

### 10.3 Vyhodnocení souboru měření č.2

Stříhová a odlupovací zkouška byla provedena na trhacím stroji Zwick 250 [kN] v Mladé Boleslavi. V grafu č. 7 je znázorněn průběh stříhové zkoušky vzorků č. 1, 2 a 3. U vzorku č. 1 bylo dosaženo destrukce spoje při hodnotě 3 500 [N], u vzorku č. 2 byla síla  $F = 3\,747$  [N] a u vzorku č. 3 byla síla  $F = 3\,911$  [N]. V příloze č. 21 je uveden protokol o stříhové zkoušce vzorku č. 4, 5 a 6 provedené při svařovací síle  $F = 1\,200$  [N]. Síla potřebná k destrukci spoje byla od 3 500 [N] do 3 800 [N]. Průběh stříhové zkoušky vzorků č. 7, 8, a 9 svařované při síle  $F = 1\,800$  [N] je uveden v příloze č. 22. I u těchto vzorků došlo k porušení v rozmezí od 3 550 [N] do 3 613 [N]. Vzorky č. 10 a 11 byly svařeny při hodnotě svařovací síly 2 400 [N] a síla potřebná k destrukci svarového bodu byla 3 792 [N] a 4 324 [N]. Protokol je uveden v příloze č. 23. V příloze č. 24 je uveden protokol stříhové zkoušky

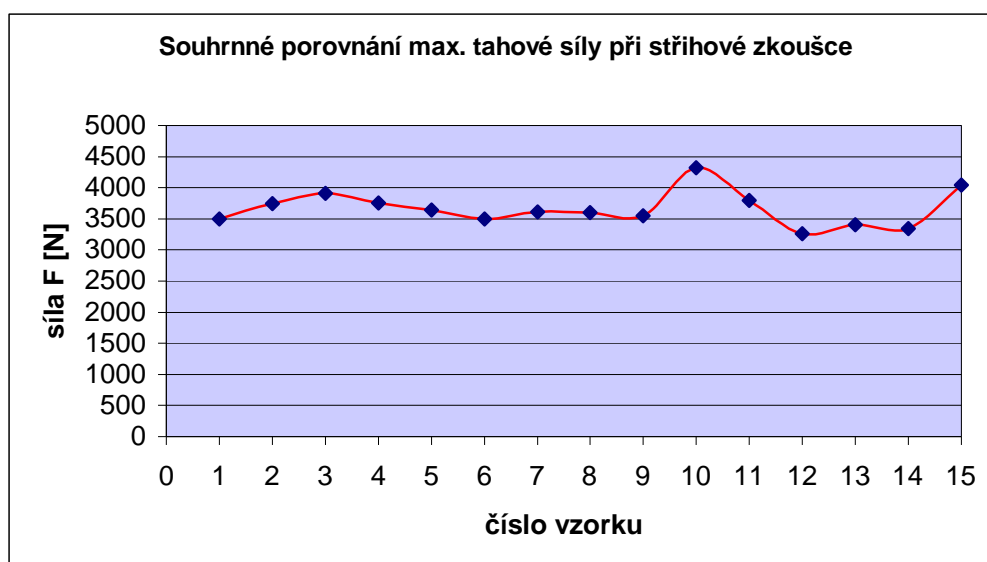
vzorků č. 12 a 13 při svařovacím tlaku  $F = 3\,000$  [N]. Hodnoty síly potřebné k porušení byly  $3\,257$  [N] a  $3\,404$  [N]. Vzorky č. 14 a 15 jsou uvedeny v příloze č. 25. Síla potřebná k destrukci bodu byla u vzorku č. 14  $F = 3\,345$  [N] a u vzorku č. 15  $F = 4\,040$  [N].



Graf 7: Střihová zkouška

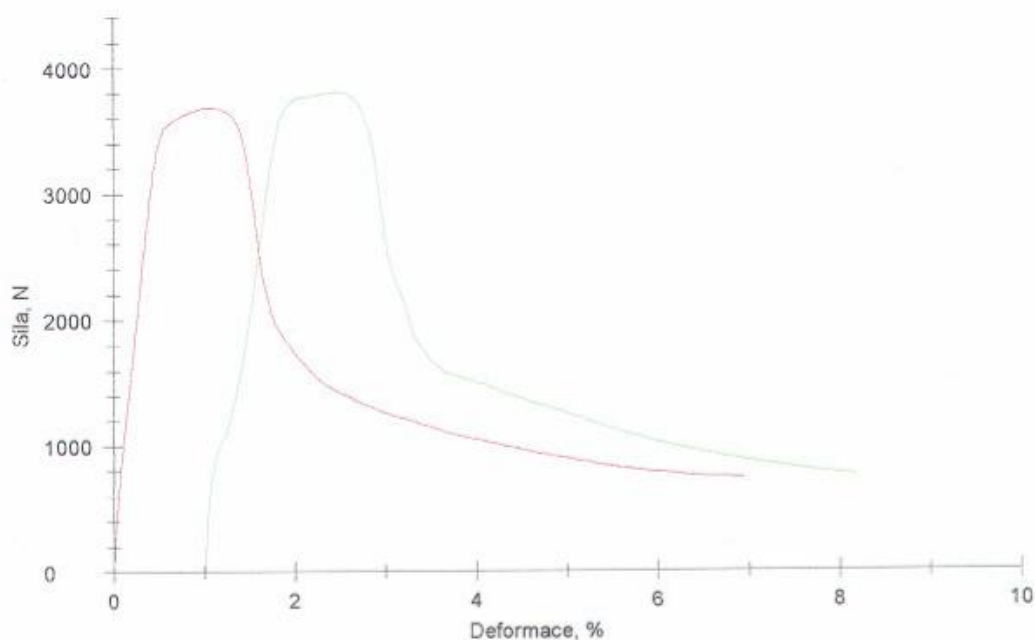
Průběhy hodnot síly při střihové zkoušce jsou zobrazeny v grafu č. 8. U většiny zkoušených vzorků se síla potřebná pro destrukci bodového svaru pohybuje v rozmezí mezi  $3\,500 - 4\,000$  [N]. Pouze u vzorku č. 10 bylo pro roztržení bodového svaru nutno  $F = 4\,324$  [N]. U vzorku č. 12, 13 a 14 se hodnota síly nacházela mírně pod hranicí  $3\,500$  [N]. To může být způsobeno velkým svařovacím tlakem, který způsobí zánik přechodových odporů při dosednutí elektrod a tudíž podmínky pro vytváření odporového svaru jsou mírně obtížnější.





Graf 8: Souhrnné porovnání maximální tahové síly při stříhové zkoušce

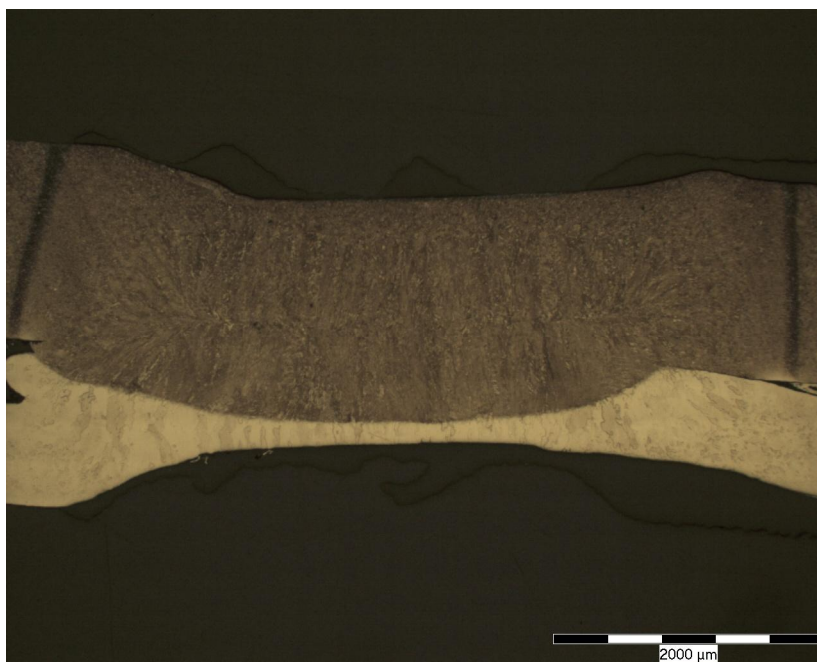
Výsledky odlupovací zkoušky jsou znázorněny v grafu č. 9. U vzorku č. 1 byla naměřena maximální síla 3 700 [N] a u vzorku č. 3 hodnota 3 800 [N]. Při měření vzorku č. 2 došlo k porušení mimo svarový spoj a z tohoto důvodu průběh neuvádím.



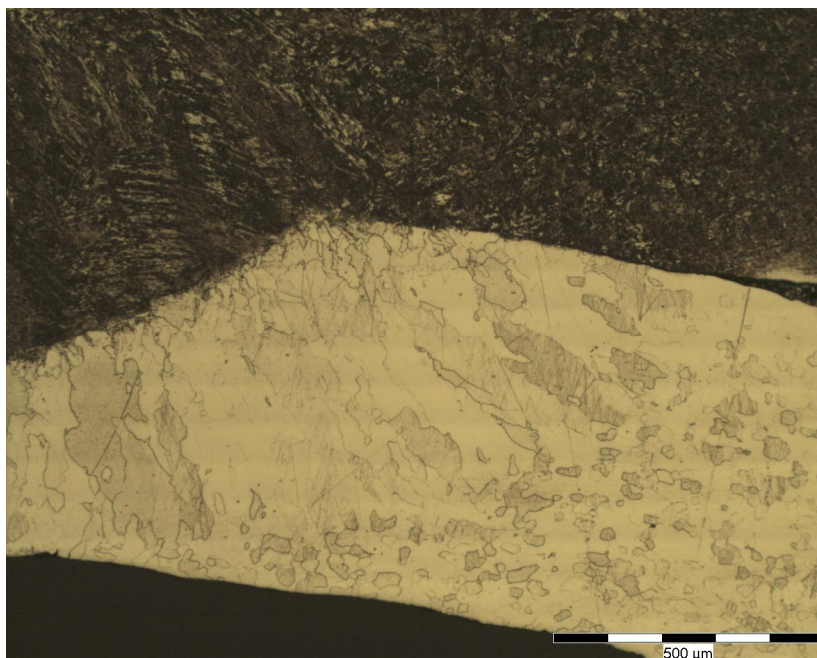
Graf 9: Odlupovací zkouška

## 10.4 Vyhodnocení souboru měření č.3

Pro metalografický výbrus jsem připravil dva vzorky. Vzorek č.1 nevykazoval žádné vady. Na obr. č. 29 je znázorněna TOO. Na obr.č 30 je vidět jak dochází ke zhrubnutí zrna při odporovém svařování.

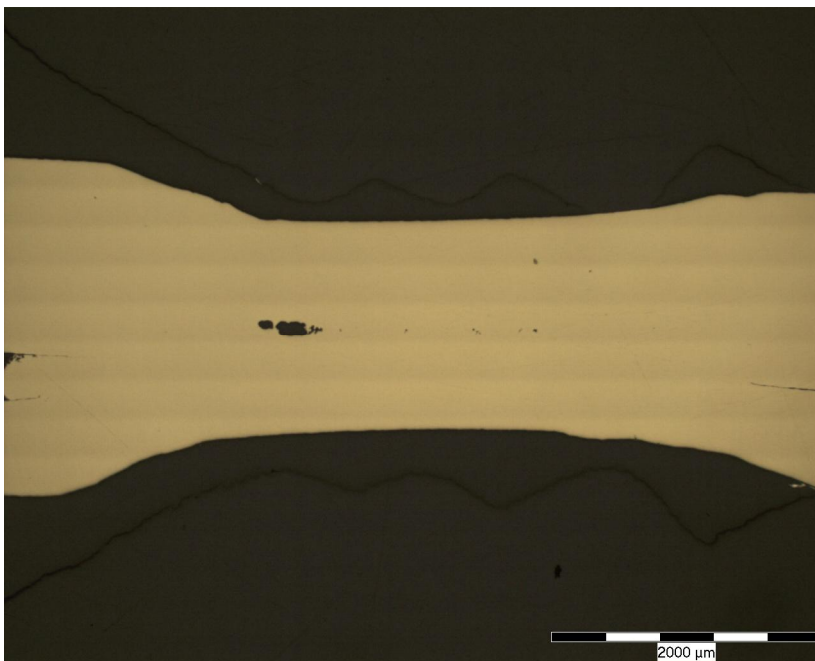


Obr. 29: TOO bodového svaru



Obr. 30: Zhrubnutí zrna při odporovém svařování

U vzorku č. 2 uvedeném na obr. č. 31 byl nalezen pór ve svarové čočce. V příloze č. 26 je provedeno okótování vady ve svaru.



Obr. 31: Vada ve svarové čočce

## 11.0 Závěr

Téma diplomové práce bylo navrženo na základě specifických aspektů při odporovém svařování vysokopevnostních plechů v automobilovém průmyslu.

Hlavním cílem diplomové práce bylo určit digram oblasti svařování dle ČSN EN ISO 14327 [10]. Toto zadání bylo splněno a výsledkem měření č. 1a je digram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle  $F = 3\,000$  [N] uvedeném v grafu č. 3. Pomocí diagramu je znázorněn rozsah svařovacího proudu pro kombinaci ocelového plechu o tloušťce 0,8 [mm] a vysokopevnostního plechu o tloušťce 1,5 [mm]. Při zvolení hodnot z oblasti WCR a při dodržení základních zásad při odporovém svařování je zaručeno vytvoření kvalitního odporového svaru. Diagram oblasti svařování při konstantní době svaru  $t = 12$  [per] byl vypracován z měření č. 1b a je uveden v grafu č. 6. Tento diagram znázorňuje rozsah svařovacího proudu v závislosti na změně elektrodové síly. Při tomto experimentu jsem vyvrátil tvrzení zahraničních dodavatelů, kteří při prvotním nastavování svařovacích parametrů požadovali svařovací tlak minimálně 3 500 [N]. Z diagramu jednoznačně vyplývá, že k vytvoření kvalitního svarového bodu dojde i při svařovací síle 1 000 [N]. Musím však zdůraznit, že jsem experiment prováděl s ideálním rozměrem vzorků bez nepřesností výlisků. V případě reálného výlisku je někdy nutno vyvodit velkou přitlačnou sílu. Pomocí elektrodové síly eliminujeme nepřesnosti lisovaných dílů.

Při měření č. 2 jsem provedl celkem 15 stříhových zkoušek a pouze 3 zkoušky odlupovací. Odlupovací zkoušku jsem neprováděl z důvodů nedostatku vzorků připravených dle metodiky normy ČSN EN ISO 14270 [6]. Ze záznamových protokolů o provedených zkouškách vyplývá velmi dobrá pevnost těchto svarových spojů. Interní norma VW 011 05-1 [4] stanovuje minimální velikost střížné tahové síly pro tuto kombinaci svařovaných plechů o velikosti  $F = 2\,300$  [N]. Tímto považuji zvolené svařovací parametry za vhodné a budu se je snažit zavádět při výrobě karoserie Roomster.

U měření č. 3 byl vypracován makrostrukturní rozbor dvou vzorků. Pozorováním byla zjištěna vada ve vzorku č. 2. Svarové body byly provedeny na stejném vzorku materiálu a výrobně jsem je provedl ihned po sobě.

Na základě získaných zkušeností při vypracovávání diplomové práce doporučuji pro hloubkovou analýzu průběhu elektrických veličin použití dokonalejšího měřicího přístroje. Tento přístroj musí umožňovat záznam průběhu proudu a napětí v závislosti na čase při odporovém svařování, ale hlavně tento průběh je nutno transportovat do počítače a pomocí softwaru analyzovat jednotlivé úseky např. sinusového průběhu. Z těchto údajů lze potom odvodit průběh odporové křivky. Přístroj Myachi Peco MG3 digital, který jsem používal pro záznam elektrických veličin při odporovém svařování umožňoval pouze transport numerických hodnot.

Velmi zajímavé by bylo rozšířit tuto diplomovou práci o problematiku svařování přes tři plechy. Tato kombinace se v automobilovém průmyslu při svařování karoserií vyskytuje velmi často. Možné rozšíření této diplomové práce by bylo o měření tepelné expanse svaru pomocí indukčních snímačů. Tato fyzikální závislost je důležitá při vytváření kvalitního odporového svaru. Pro ověřování mechanických vlastností provedených svarových spojů je nutno mít přístup k trhacím strojům a dobré softwarové vybavení pro provádění různých zkoušek.

Diplomová práce obsahuje souhrnné informace o problematice odporového svařování při výrobě karoserií a popisuje současný stav řídicích systémů odporového svařování.

## 12.0 Seznam použité literatury

- [ 1 ] JANOTA, M.: Tvrdosť zvaracieho procesu v tabuľkách odporúčaných parametrov odporového zvarovania. ZVÁRANIE – SVAŘOVÁNÍ, 2005, č. 11-12, s. 301 – 304.
- [ 2 ] ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování
- [ 3 ] NEUMANN, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohlínkovaných ocelových plechů /Disertační práce/, Liberec 1990, TU Liberec
- [ 4 ] VW 011 05 – 1 Odporové bodové svařování, Konstrukce, výpočty, zajištění procesu, Nepovrstvené a povrstvené plechy 2004.
- [ 5 ] ČSN EN ISO 14273 Rozměry vzorků a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových svarů
- [ 6 ] ČSN EN ISO 14270 Rozměry vzorků a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení odporových bodových svarů
- [ 7 ] HÝŽA, R; KUČÍK, P.: Skúšanie odporových bodových zvarových spojov ultrazvukom. ZVÁRANIE – SVAŘOVÁNÍ, 2005, č. 1, s. 15 – 19.
- [ 8 ] Materiály a jejich svařitelnost. ZEROSS
- [ 9 ] HOLÁSEK, J.: Odporové zvarovanie. SVTL Bratislava, 1968
- [ 10 ] ČSN EN ISO 14327 Odporové svařování – Způsoby určení diagramu oblasti svařování při odporovém bodovém, výstupkovém a švovém svařování
- [ 11 ] Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. ZEROSS
- [ 12 ] Odporové zvarovanie. Dom techniky ČSVTS, Bratislava
- [ 13 ] PV 6702 Bodové svarové spoje, Pevnostní zkoušky ocelových materiálů 2004.
- [ 14 ] PLÍVA, L.: Odporové svařování. SNTL Praha, 1975

## Seznam příloh:

- Příloha č. 1 Výpis svařovacích parametrů
- Příloha č. 2 Materiálový list vysokopevnostního plechu TL 4225
- Příloha č. 3 Materiálový list ocelového plechu 0,8 mm.
- Příloha č. 4 Popis měřicího přístroje Myachi Peco MG3 digital
- Příloha č. 5 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 6$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 6 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 8$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 7 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 10$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 8 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 12$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 9 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 14$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 10 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 16$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 11 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 18$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 12 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 20$  [ per ] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 13 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle  $F 760$  [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 14 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle  $F 1\ 200$  [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 15 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle  $F 1\ 800$  [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 16 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle  $F 2\ 400$  [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 17 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle  $F 3\ 000$  [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 18 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle  $F 3\ 600$  [N] a různých svařovacích proudech

- Příloha č. 19 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru,  
elektrodové síle  $F 4\ 200\ [N]$  a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 20 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru,  
elektrodové síle  $F 4\ 800\ [N]$  a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 21 Protokol stříhové zkoušky vzorků č. 4, 5 a 6 při svařovací síle  
 $1\ 200\ [N]$
- Příloha č. 22 Protokol stříhové zkoušky vzorků č. 7, 8 a 9 při svařovací síle  
 $1\ 800\ [N]$
- Příloha č. 23 Protokol stříhové zkoušky vzorků č. 10 a 11 při svařovací síle  
 $2\ 400\ [N]$
- Příloha č. 24 Protokol stříhové zkoušky vzorků č. 12 a 13 při svařovací síle  
 $3\ 000\ [N]$
- Příloha č. 25 Protokol stříhové zkoušky vzorků č. 14 a 15 při svařovací síle  
 $3\ 600\ [N]$
- Příloha č. 26 Velikost vady ve vzorku č.2



## Příloha č. 1

FASE - SCHWEISS - STEUERUNG W E L D 3 3 4 M

Fre 09/11/2007 11:18:55 p.

Modul:1:FASE334M

Schweissprogramme

Programm N°	[1-64]	: 01
Programmname		: A1RTS6/3
Schweisssmodus		: KSR
Programmausführung		: ON
Impulsart		: N
Impulse	[1-20]	: 01
Betrieb Serienpunkt		: OFF
Letzte Aenderung		: Mon 16/12/2013 06:40:03
Stepper N°	[0-16]	: 01
Verl. VHZ	[0-99]	: 20
Vorhaltezeit	[1-99]	: 20
Nachhaltezeit	[1-99]	: 15
Offenhaltezeit	[0-99]	: 10
Relative Standmenge (VEE)	[0-10]	: 10
Druckumschaltung (CVP)	[0-99]	: 15
Drucksteuerung (MVP)	[0-5]	: 0
Druck 1 kN	[0.00-30.00]	: 04.00
Druck 2 kN	[0.00-30.00]	: 00.00
% Stromtoleranz -	[5-50]	: 10
% Stromtoleranz +	[5-50]	: 10
% Absolute Stromtoleranz	[5-50]	: 10
Punktwiederholungen	[0-10]	: 01
Regelgrenze	[20-100]	: 020
Stromanstiegszeit	[0-98]	: 02
Schweissszeit	[1-99]	: 12
Stromabfallzeit	[0-98]	: 02
Pausenzeit	[0-99]	: 00
Kleinster Zuendwinkel	[30-135]	: 083
Ausblendzeit	[1-99]	: 02
Strom kA	[1.0-150.0]	: 006.0

## Příloha č. 2

The English translation is believed to be accurate. In case of discrepancies the German version shall govern.  
Revised text translated by: EZTP, +49-5361-927460,  
ulrike.kok@volkswagen.de

Kein Änderungsaustausch bei Einzelblatt-  
Ausgabe./Updating not provided for  
standards issued individually.

Form FE 41 - 10.99

**Klass.-Nr./Class. No. 51 32 2** **September 1995**

<b>VOLKSWAGEN AG</b>	<b>Alloyed quenched and tempered steel for welded tubes/sheet profiles</b> Material Requirements	<b>TL 4225</b>
<b>Konzernnorm</b>		

For references see last page

Note: Approval of first supply and changes acc. to VW 011 55 "Vehicle Supply Parts - General"

**1 General**

1.1 Application impact member

1.2 Grade micro-alloyed stainless steel

1.3 Shape of application quenched, welded tubes (acc. to DIN 2394-2) and sheet profiles

**2 Chemical composition in weight percent**

C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S
0.19 - 0.25	0.15 - 0.50	1.10 - 1.40	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.025	≤ 0.015

Ti	Al	B
0.020 - 0,050	0.020 - 0.060	0.002 - 0.005

**3 Microstructure and physical properties**

3.1 Purity grade microscopic purity grade acc. to JK scale A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>  
total characteristic value of the K4 oxide values (H95 values) K4 ≤ 30

3.2 Microstructure Quenched and tempered microstructure brought about by quenching.

Page 1 of 2

Fachverantwortung/ Technical responsibility <b>EZLM Dr. Eisenberg</b>	Normung/Standards (EZTN, 1733) Sobanski
--	--

Confidential. All rights reserved. No part of this document may be transmitted or reproduced without the prior written permission of the Volkswagen Group, EZTN, Standards Department.  
Parties to a contract can only obtain this standard via their responsible procurement department.  
Confidential. All rights reserved. No part of this document may be transmitted or reproduced without the prior written permission of the Volkswagen Group, EZTN, Standard Department.  
Parties to a contract can only obtain this standard via the responsible procurement department.

© VOLKSWAGEN AG




#### 4 Physical properties

4.1	Tubes	acc. to drawing
	Hardness	(435 + 140) HV 10
	$R_m$	(1400 + 500) N/mm <sup>2</sup>
	$R_{p0,2}$	(1100 + 300) N/mm <sup>2</sup>
	Elongation $A_5$	≥ 8 %
4.2	Sheet profiles	acc. to drawing
	Hardness	(400 + 150) HV 10
	$R_m$	(1300 + 500) N/mm <sup>2</sup>
	$R_{p0,2}$	(950 + 300) N/mm <sup>2</sup>
	Elongation $A_5$	≥ 6 %

#### 5. Referenced standards

VW 011 55                      Vehicle Supply Parts General  
 DIN 2394-2

# Příloha č. 3

 Mladá Boleslav		Kmenová karta č.: <b>180 – A05</b> Blechennkarte Nr.: <b>Svítek/Coil</b>	Název dílu / Benennung: <b>Rám dveří L/P</b> Seitenteil außen li/re	Číslo dílu/Zeichnungs–Nummer: <b>5J7 809 605 / 5J7 809 606</b> Číslo materiálu/Material–Nummer: <b>ECE 15 076239</b>
Předpis materiálu/Werkstoffvorschrift <b>EN 10 152 QP A 012</b> <b>DC 06 ZE 50/50 BPO</b> Omezení/Begrenzung: <b>–0,05/+0,01</b>	Tloušťka/Dicke[mm] <b>0,80</b>	Šířka/Breite[mm] <b>1770</b>	Krok/Schnitt [mm] <b>3180</b> 1. <b>3180</b> 2.	Tolerance/Toleranz <b>EN 10 131</b>
Směrné hodnoty Richtwerte	Mez kluzu Rp0,2 Streckgrenze	Pevnost v tahu Rm Zugfestigkeit	Tažnost A 80 Dehnung	Poměr Rp02/Rm Streckgrenzenverh.
Strana/Seite		Vnější / Außenseite		Vnitřní / Innenseite
razítka / Stempel		x		
kontrol.strana / Gutseite		x		
povlak/Bezug		x		
konzervace / Beölung		Anticorit PL 3802–39S; 1,2 + 1,7g/m <sup>2</sup>		Anticorit PL 3802–39; 1,2 + 1,7g/m <sup>2</sup>
povolené oleje/zulässige Öle		Anticorit RP 4107S; 1,2 + 1,7g/m <sup>2</sup>		Multidraw PL 61; 1,2+1,7 g/m <sup>2</sup>
typ povrchu / drsnost Oberfläche / Rauheit		EDT Ra 1,0 + 1,5 μm PC >=60 1/cm PRETEX Ra 1,0 + 1,5 μm EBT–pseudostoch. PC >=60 1/cm	EDT Ra 1,0 + 1,5 μm PC >=60 1/cm PRETEX Ra 1,0 + 1,5 μm EBT–pseudostoch. PC >=60 1/cm	
cut off: 2,5 mm Schema/Bild		měř. délka/Gesamtmeßstrecke: 12,5 mm		
  		Použití Verwendungszweck	Tvárění Verformung	povrch – požadavky Oberflächenanforderung
Vnější díl Aussenteil		x nejtěžší schwierigste	x zvláště vysoké besondersstrenge	x tavné Schmelz–
Vnitř. díl – viditel. Innent.–sichtbar		těžké schwierige	vysoké streng	odporové Widerstand–
Vnitřní díl Innenteil		složitě starke	zvýšené erhöht	odpor. švové Rollenschweiss.
		normální normale	normální üblich	jiné andere
Zvláštní upozornění/Besondere Hinweise: *1) Požadovaná zpracovatelnost s uvedenou zmetkovitostí musí být dodržena. Die Verarbeitung mit angegebenen Ausschussteil muß gewährleistet sein.				
Zpracovatelnost *1) 1% Die Verarbeitbarkeit				
Datum	Druh změny/Art der Veränderung		Změnu požaduje Änderung fordert	
25.3.2005	První vydání / Erste Ausgabe		Oružinská VCP–1	
17.8.2005	Aktualizace formátu, mater.číslo		Oružinská VCP–1	
29.11.2005	Aktualizace		Slámová VCP–1	
21.4.2006	Doplnění dodací normy		Ing. Schiffmannová VZT–1	
20.7.2006	Změna tloušťky		Ing. Schiffmannová VZT–1	

Vystavil : Ing. Petra Schiffmannová  
Aufgestellt:

Kontroloval : Ing. Pavel Voborník  
Geprüft:

Schválil : Ing. Eubomír Rolčák  
Genehmigt:  
3102  
svařování a lepení-vedení

VZB–0005/99

180A05\_5J7 809 605\_606.xls, 20.7.2006



## Weld Sentry MG3 Digital

### Features



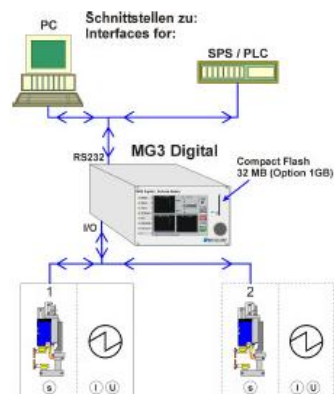
- Digital multifunctional weld sentry
- Real time monitoring
- Graphic and numeric indication
- Intelligent monitoring mechanisms
- Context-sensitive online help
- Memory card drive
- Statistic process control
- Extensive process analysis
- Manifold display modes for measuring values

### Applications

- Automatic error detection
- Wide application in all performance classes
- Process documentation and analysis
- Process monitoring and control

### Use

- Easy parametrization
- Maximum process safety
- Excellent functionality
- Short training period
- Extensive analysis of welding



#### MIYACHI EUROPE GmbH

Lindberghstr. 1 D-82178 Puchheim  
Phone: +49 (0)89-839403-0 Facsimile: +49 (0)89-839403-10  
<http://www.miyachi-peco.de> [info@miyachi-peco.de](mailto:info@miyachi-peco.de)  
2005-03 600E

*Spirit of Innovation*



## Technical Data

### General

Part Number  
Weld Current Type  
Execution

### Measuring Functions

### Options

### Electrical Power Supply

Supply Voltage  
Mains Frequency  
Connected Rating  
Fusing  
Connection Cable  
Protection Class

### Display

Graphic Display  
Graphic Scan

### Power Data

Storage Capacity

### Electrical Measuring Data

Monitor Schedules  
Current Range  
Current Measurement Accuracy  
Voltage Range  
Voltage Measurement Accuracy  
Scanning Rate  
Measuring Times with DC  
Measuring Times with AC  
Measuring Times with Seam

### Interfaces

Analog Inputs  
Analog Outputs  
Digital Interface  
Digital Inputs

### Digital Outputs

### Serial Interface RS232

### Removable Disk

### Mechanical Data

Dimensions  
Weight

### Operation Data

Ambient Temperature

## MG3 Digital Basic

766.09 323  
direct current, alternating current and capacitor discharging  
1 closed toroidal coils d=70 mm and a voltage measuring cables  
2-channel current and voltage measuring (parallel) with external BCD program selection  
turn- pressure knob for menu selection and parameter input  
current, voltage, charging, time, power, energy, resistance,  
pre-warning and limit values, envelope waveform function, counter,  
statistic process control (detected values inreadable as limit values).  
former coils look data sheet toroidal coils  
WinWeld software (see data sheet)

90 - 260 V AC  
50 - 60 Hz  
60 W  
internal 2 A delayed  
3 x 0.75 mm<sup>2</sup>; 2 m long  
IP30

120 x 90 mm  
with measuring time ≤ 50 ms: 40 dots/ms  
with measuring time > 50 ms: 5 dots/ms

compact flash (type I and II), 32 MB (option 1 GB microdrive)

99  
2 - 500 kA resp. 0.2 - 50 kA (with coil x10)  
± 0.5% of measurement range limit value (without coil)  
0.5 - 50 V  
± 0.5% of measurement range limit value  
12.5 µs per channel  
1 - 2000 ms  
1 - 5000 ms  
infinite

I - channel 1 and 2; U - channel 1 and 2  
I - channel 1 and 2  
CAN-Bus for graphic output  
15-p. D-SUB male connector; BCD  
25-p. D-SUB male connector  
15-p. D-SUB female connector; BCD  
25-p. D-SUB female connector  
output of measuring values in ASCII-file compatible printer record  
(alphanumeric output)  
output in Excel compatible format

240 x 135 x 320 mm (W x H x D) = 1/2 19"; benchtop chassis  
approx. 5.4 kg

0 - 40°C



#### Interfaces

Analog Inputs

I - channel 1 and 2; U - channel 1 and 2

Analog Outputs

I - channel 1 and 2

Digital Interface

CAN-Bus for graphic output

Digital Inputs

15-p. male connector; BCD

25-p. D-SUB male connector

Digital Outputs

15-p. female connector; BCD

25-p. D-SUB female connector

Serial Interface RS232

output of measuring values in ASCII-file compatible printer record  
(alphanumeric output)

Removable Disk

output in Excel compatible format

#### Mechanical Data

Dimensions

240 x 135 x 320 mm (W x H x D) = 1/2 19"; benchtop chassis

Weight

approx. 5.4 kg

#### Operation Data

Ambient Temperature

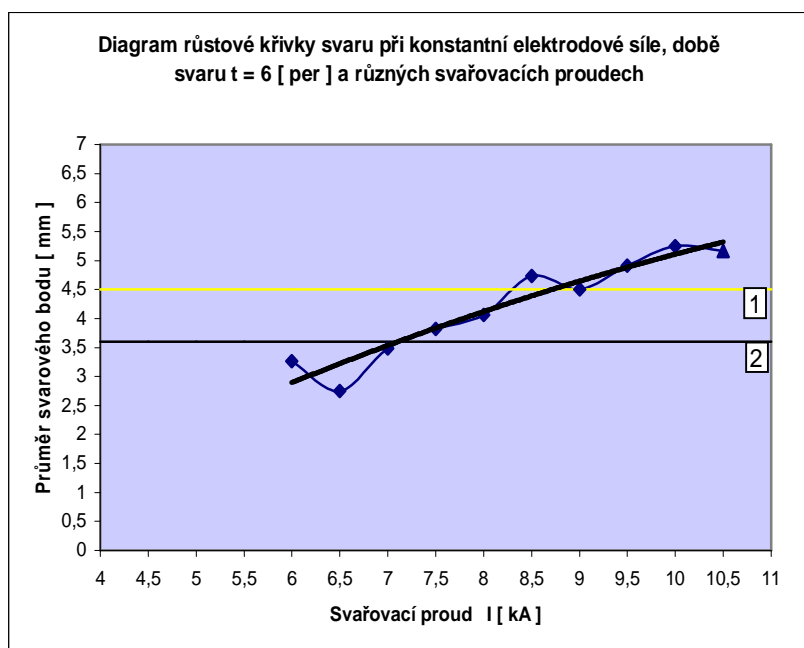
0 - 40°C

## Příloha č. 5

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 6$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [ per ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 6$ [ per ]	6,0	3,8	2,5	2,8	2,8	3,0	3,2	3,0
$t = 6$ [ per ]	6,5	3,1	2,8	2,9	2,3	2,9	2,5	2,8
$t = 6$ [ per ]	7,0	3,5	3,5	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5
$t = 6$ [ per ]	7,5	4,0	3,6	3,7	3,8	4,2	3,6	3,8
$t = 6$ [ per ]	8,0	4,3	3,9	4,1	4,0	3,9	4,2	4,1
$t = 6$ [ per ]	8,5	4,8	4,2	4,1	4,4	5,4	5,5	4,7
$t = 6$ [ per ]	9,0	4,9	4,3	4,5	4,4	4,5	4,4	4,5
$t = 6$ [ per ]	9,5	4,8	4,6	4,7	4,7	5,6	5,1	4,9
$t = 6$ [ per ]	10,0	5,3	5,2	5,4	5,7	5,0	4,9	5,3
$t = 6$ [ per ]	10,5	5,2	5,5	4,9	5,1	5,3	5,0	5,2

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]



## Příloha č. 6

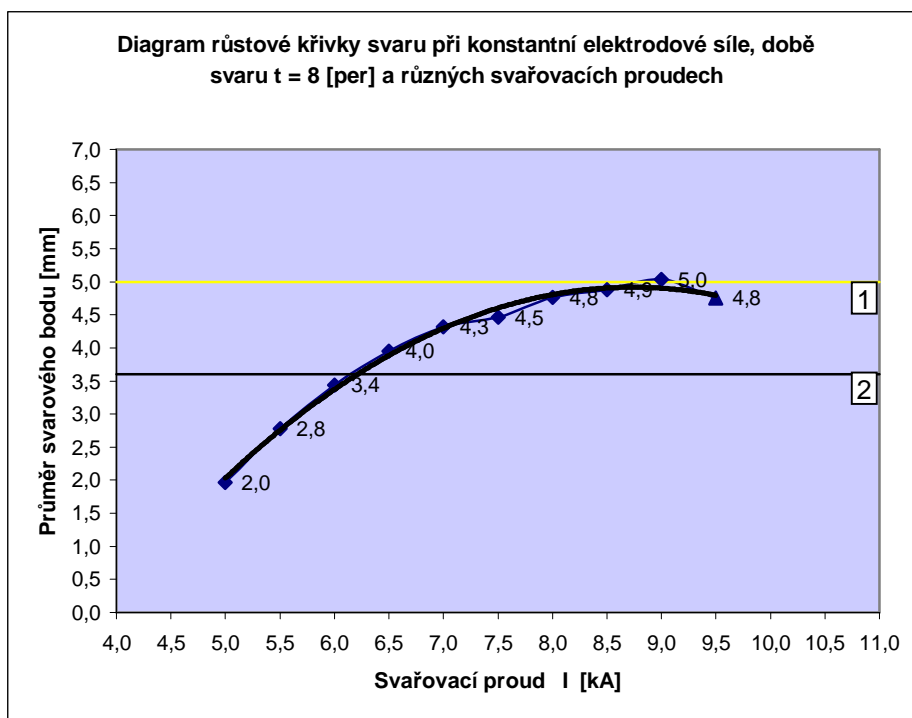
### Příloha č. 6

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 8$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [ per ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [ mm ]						arit. průměr [ mm ]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 8$ [ per ]	5,0	4,0	2,4	1,4	1,6	0,4	2,0	2,0
$t = 8$ [ per ]	5,5	2,5	2,7	2,8	3,0	2,7	3,0	2,8
$t = 8$ [ per ]	6,0	3,5	3,5	3,4	3,6	3,4	3,2	3,4
$t = 8$ [ per ]	6,5	3,9	3,8	3,9	3,8	4,1	4,2	4,0
$t = 8$ [ per ]	7,0	4,5	4,2	4,1	4,6	4,2	4,3	4,3
$t = 8$ [ per ]	7,5	4,3	4,4	4,3	4,6	4,7	4,5	4,5
$t = 8$ [ per ]	8,0	5,2	4,7	4,6	4,8	4,5	4,8	4,8
$t = 8$ [ per ]	8,5	4,4	5,0	4,9	5,0	5,4	4,6	4,9
$t = 8$ [ per ]	9,0	5,0	4,9	5,2	5,6	5,2	4,3	5,0
$t = 8$ [ per ]	9,5	4,7	4,6	4,7	4,8	5,0	4,7	4,8

Legenda:

rozstřik



Legenda:

1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

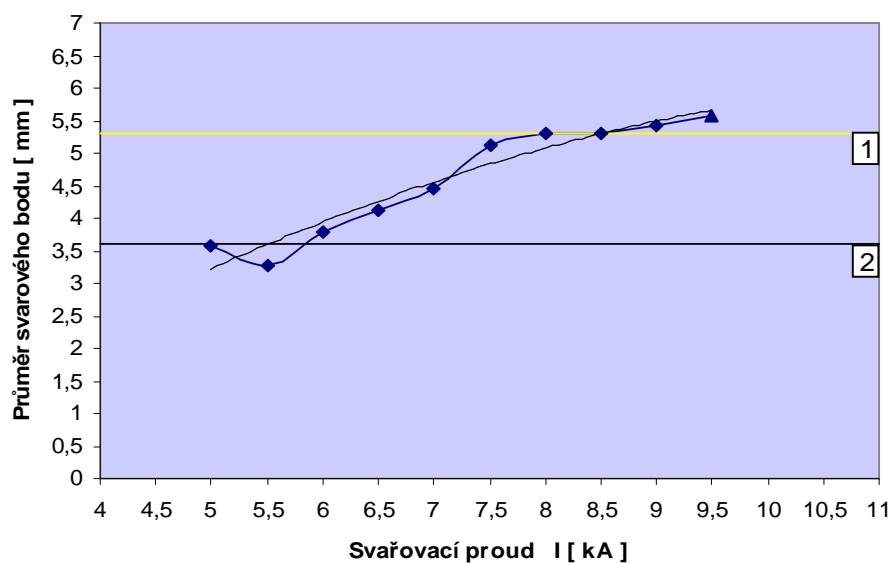
Příloha č. 7

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 10$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [per]	Svařovací proud $I$ [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 10$ [per]	5,0	4,0	3,5	3,2	3,0	2,8	2,4	3,2
$t = 10$ [per]	5,5	3,3	3,1	3,5	3,2	3,5	3,1	3,3
$t = 10$ [per]	6,0	3,8	3,9	3,5	4,0	3,8	3,7	3,8
$t = 10$ [per]	6,5	4,0	4,3	4,0	4,4	4,0	4,0	4,1
$t = 10$ [per]	7,0	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,8	4,5
$t = 10$ [per]	7,5	5,0	4,8	5,3	5,3	5,2	5,2	5,1
$t = 10$ [per]	8,0	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,3
$t = 10$ [per]	8,5	5,2	5,1	5,3	5,5	5,4	5,3	5,3
$t = 10$ [per]	9,0	5,3	5,5	5,2	5,4	5,6	5,5	5,4
$t = 10$ [per]	9,5	5,6	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,6

Legenda: rozstřík

Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru  $t = 10$  [per] a různých svařovacích proudech



Legenda:

1 Mez rozstříku

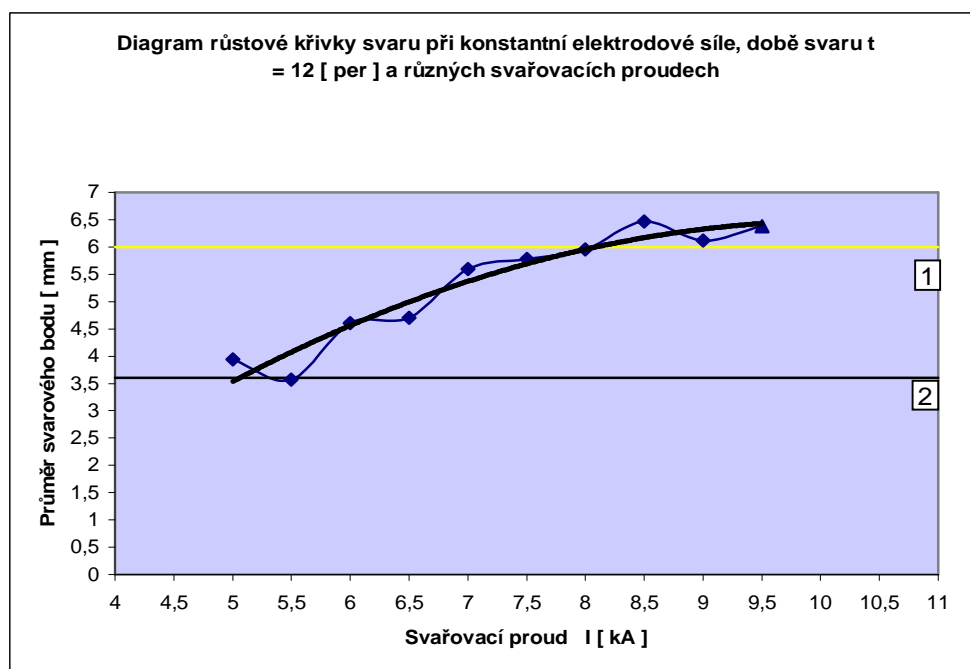
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

## Příloha č. 8

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 12$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [ per ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 12$ [ per ]	5,0	4,2	2,8	2,6	2,3	2,7	2,8	2,9
$t = 12$ [ per ]	5,5	3,6	3,5	3,6	3,5	3,7	3,5	3,6
$t = 12$ [ per ]	6,0	4,3	4,7	4,7	4,9	4,4	4,6	4,6
$t = 12$ [ per ]	6,5	4,6	4,5	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7
$t = 12$ [ per ]	7,0	5,4	5,4	5,7	5,6	5,6	5,9	5,6
$t = 12$ [ per ]	7,5	6,3	4,9	6,6	6,7	4,5	5,7	5,8
$t = 12$ [ per ]	8,0	5,6	6,4	5,6	6,0	6,5	5,6	6,0
$t = 12$ [ per ]	8,5	6,2	6,7	6,7	6,5	6,6	6,1	6,5
$t = 12$ [ per ]	9,0	5,8	6,6	7,0	6,2	5,6	5,5	6,1
$t = 12$ [ per ]	9,5	6,4	6,4	6,6	6,5	6,2	6,2	6,4

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

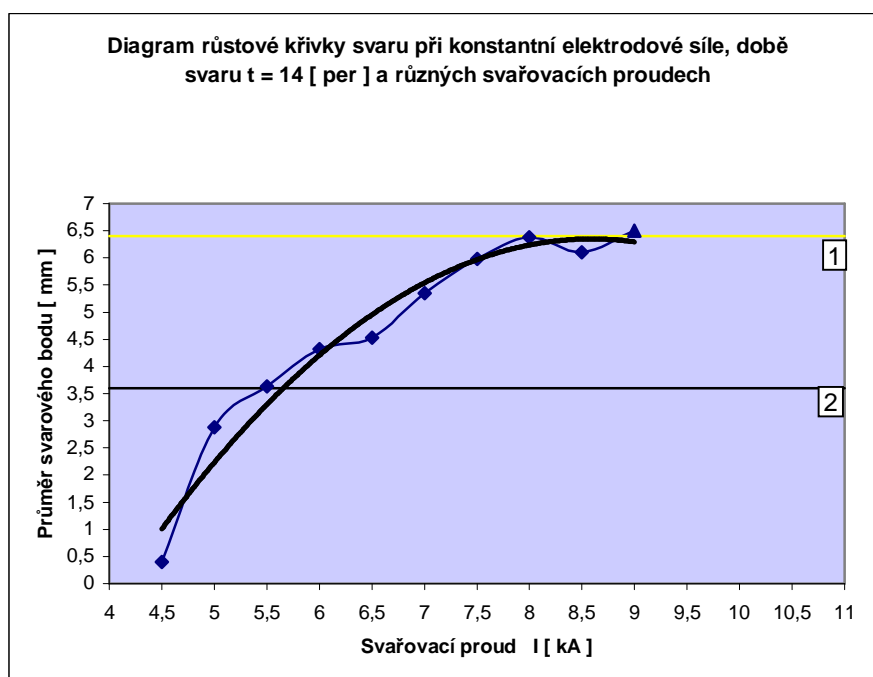
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 9

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 14$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [ per ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 14$ [ per ]	4,5	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
$t = 14$ [ per ]	5,0	3,0	2,8	2,7	2,8	3,1	2,9	2,9
$t = 14$ [ per ]	5,5	3,6	3,6	3,7	3,6	3,6	3,7	3,6
$t = 14$ [ per ]	6,0	4,0	4,2	4,0	4,3	4,0	5,4	4,3
$t = 14$ [ per ]	6,5	4,4	4,5	4,6	4,5	4,8	4,4	4,5
$t = 14$ [ per ]	7,0	5,3	5,3	5,3	5,2	5,6	5,4	5,4
$t = 14$ [ per ]	7,5	6,0	6,0	6,2	5,7	6,2	5,8	6,0
$t = 14$ [ per ]	8,0	6,3	6,3	6,3	6,5	6,5	6,4	6,4
$t = 14$ [ per ]	8,5	5,9	5,5	6,4	6,2	6,3	6,3	6,1
$t = 14$ [ per ]	9,0	6,4	6,3	6,6	6,6	6,8	6,3	6,5

Legenda: rozstřik



Legenda:

1 Mez rozstřiku

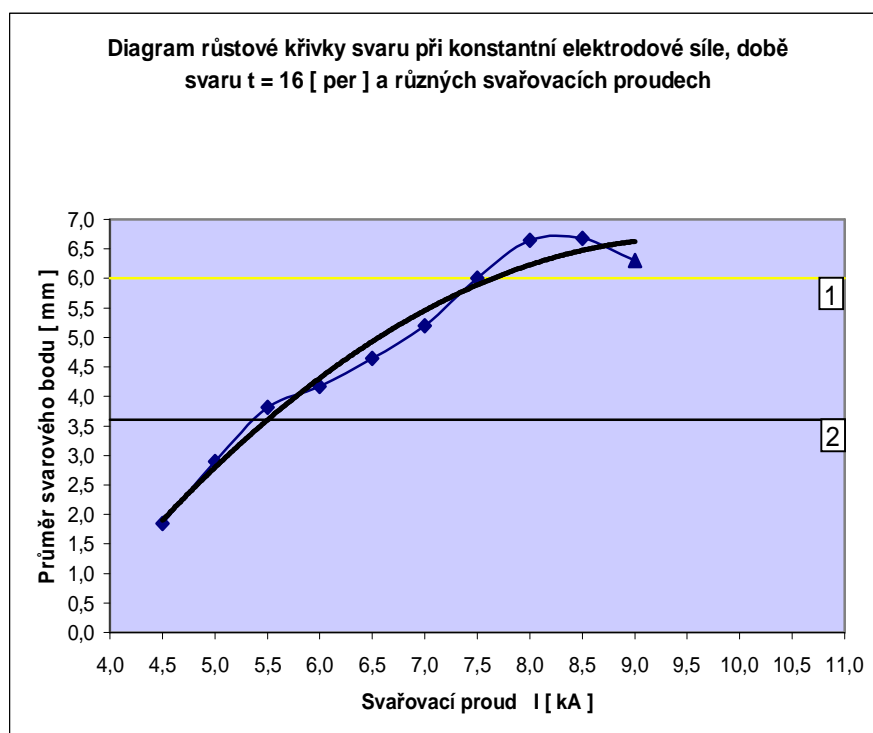
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 10

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 16$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [ per ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 16$ [ per ]	4,5	3,0	2,0	1,1	0,9	1,5	2,6	1,9
$t = 16$ [ per ]	5,0	2,6	2,7	2,8	3,3	2,8	3,2	2,9
$t = 16$ [ per ]	5,5	3,7	4,2	3,7	3,6	3,8	3,9	3,8
$t = 16$ [ per ]	6,0	4,1	4,0	4,4	4,2	4,0	4,3	4,2
$t = 16$ [ per ]	6,5	4,5	4,7	4,7	4,5	4,7	4,8	4,7
$t = 16$ [ per ]	7,0	5,2	5,0	4,9	5,0	5,5	5,6	5,2
$t = 16$ [ per ]	7,5	5,9	5,8	5,6	6,3	5,6	6,8	6,0
$t = 16$ [ per ]	8,0	6,7	6,7	6,6	6,7	6,6	6,6	6,7
$t = 16$ [ per ]	8,5	6,6	6,8	6,7	6,7	6,6	6,7	6,7
$t = 16$ [ per ]	9,0	7,2	5,6	5,6	6,3	6,7	6,4	6,3

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

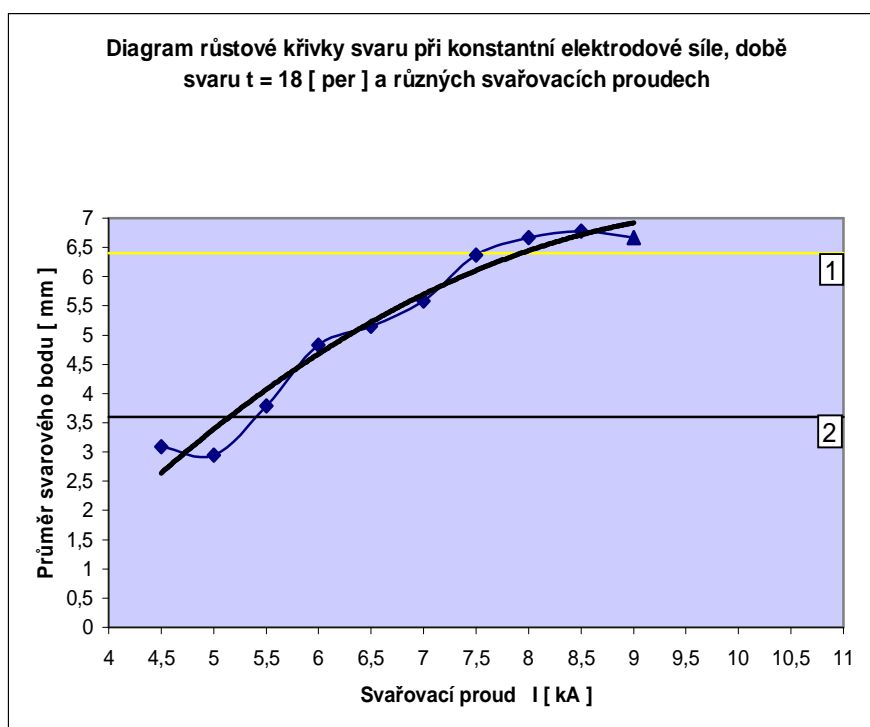
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 11

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 18$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [ per ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 18$ [ per ]	4,5	3,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
$t = 18$ [ per ]	5,0	3,0	2,7	2,9	2,8	3,0	3,3	3,0
$t = 18$ [ per ]	5,5	3,9	3,9	3,7	4,1	3,4	3,7	3,8
$t = 18$ [ per ]	6,0	5,0	4,7	4,8	4,9	4,7	4,9	4,8
$t = 18$ [ per ]	6,5	5,4	4,9	5,3	5,0	5,1	5,2	5,2
$t = 18$ [ per ]	7,0	5,3	5,6	5,7	5,6	5,7	5,6	5,6
$t = 18$ [ per ]	7,5	6,2	6,2	6,2	6,4	6,5	6,7	6,4
$t = 18$ [ per ]	8,0	6,4	6,9	6,9	6,4	6,6	6,8	6,7
$t = 18$ [ per ]	8,5	6,7	6,9	7,0	6,1	7,0	7,0	6,8
$t = 18$ [ per ]	9,0	6,3	6,7	6,3	6,6	7,0	7,1	6,7

Legenda: rozstřik



Legenda:

1 Mez rozstřiku

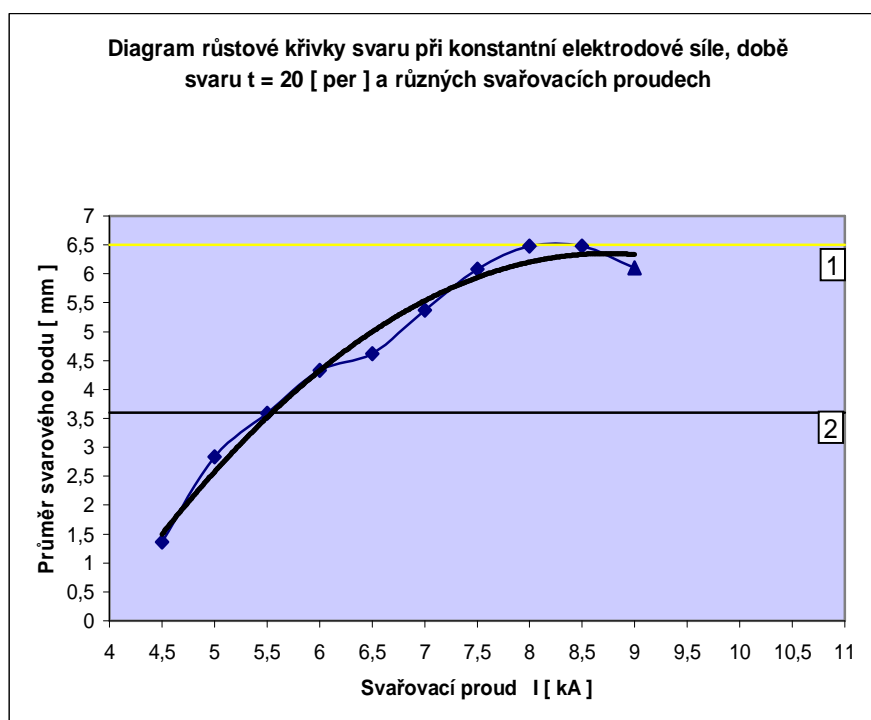
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 12

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru  $t = 20$  [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas $t$ [ per ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 20$ [ per ]	4,5	2,1	1,8	0,0	1,0	1,7	1,6	1,4
$t = 20$ [ per ]	5,0	2,7	2,7	2,9	2,8	2,9	3,0	2,8
$t = 20$ [ per ]	5,5	3,6	3,6	3,5	3,7	3,5	3,6	3,6
$t = 20$ [ per ]	6,0	4,2	4,1	4,3	4,4	4,3	4,7	4,3
$t = 20$ [ per ]	6,5	4,9	4,6	4,5	4,7	4,4	4,6	4,6
$t = 20$ [ per ]	7,0	4,8	5,4	5,8	5,4	5,3	5,5	5,4
$t = 20$ [ per ]	7,5	6,4	6,3	5,7	6,0	5,8	6,3	6,1
$t = 20$ [ per ]	8,0	6,5	6,3	6,5	6,3	6,6	6,7	6,5
$t = 20$ [ per ]	8,5	5,6	5,7	5,6	6,0	6,5	6,3	6,5
$t = 20$ [ per ]	9,0	5,7	6,0	6,3	6,7	6,2	5,7	6,1

Legenda: rozstřik



Legenda:

1 Mez rozstřiku

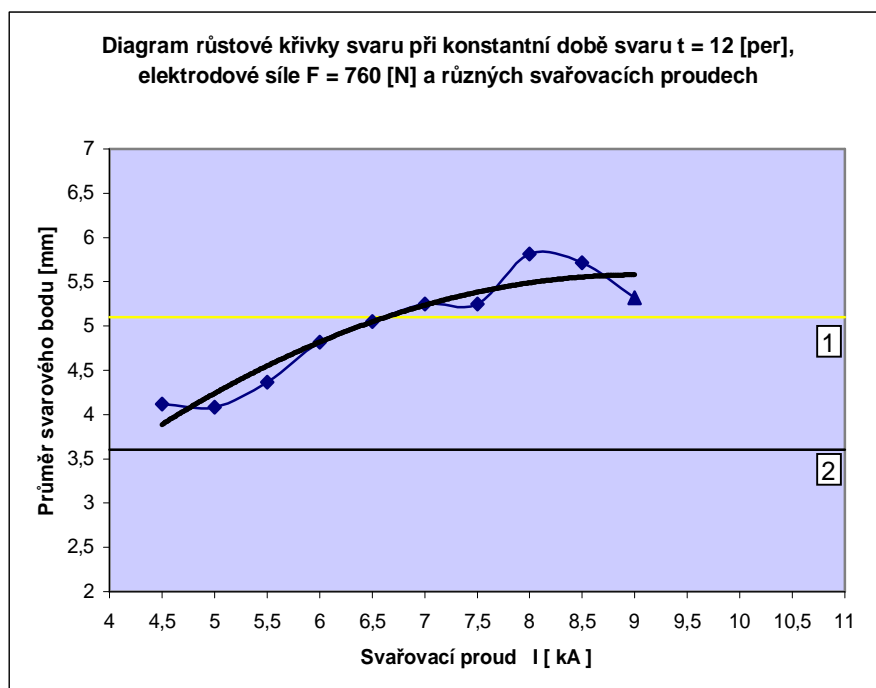
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 13

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t = 12$  [per], elektrodové síle  $F = 760$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 760$ [N]	4,5	4,2	4,2	3,8	3,9	4,4	4,2	4,1
$F = 760$ [N]	5,0	4,2	3,8	4,0	4,0	4,2	4,3	4,1
$F = 760$ [N]	5,5	4,3	4,5	4,3	4,4	4,2	4,5	4,4
$F = 760$ [N]	6,0	5,2	4,6	4,8	4,8	4,7	4,8	4,8
$F = 760$ [N]	6,5	4,7	5,0	5,0	5,1	5,3	5,2	5,1
$F = 760$ [N]	7,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,2	5,3	5,3
$F = 760$ [N]	7,5	5,3	5,0	5,3	5,2	5,5	5,2	5,3
$F = 760$ [N]	8,0	5,3	6,0	6,3	6,0	5,9	5,4	5,8
$F = 760$ [N]	8,5	6,0	5,5	5,9	5,5	6,0	5,4	5,7
$F = 760$ [N]	9,0	3,7	5,4	5,4	5,7	5,7	6,0	5,3

Legenda: **rozstřík**



Legenda:

1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

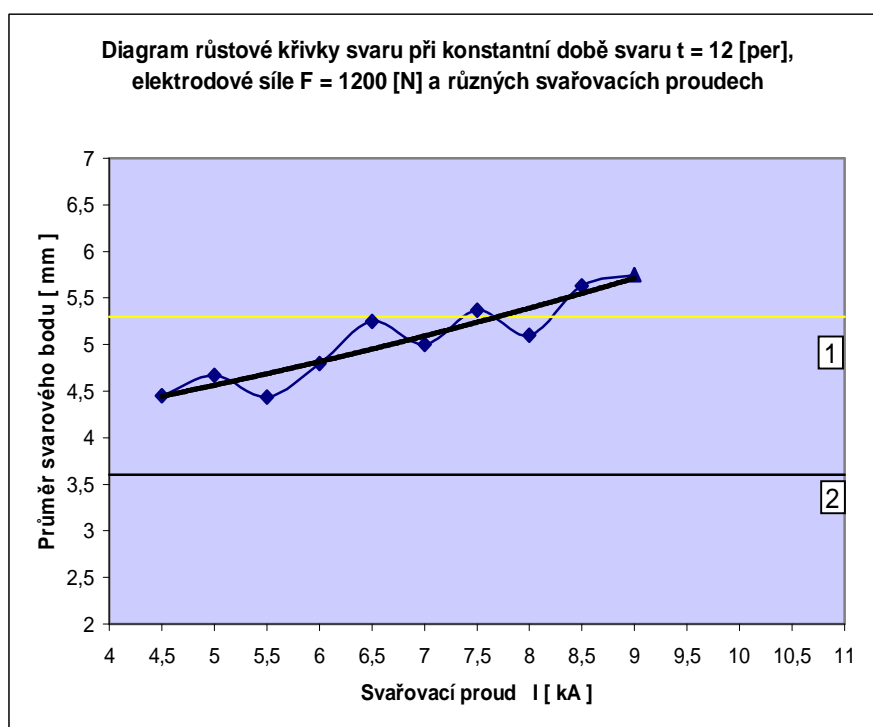


## Příloha č. 14

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t = 12$  [per] , elektrodové síle  $F = 1200$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 1200$ [N]	4,5	4,1	4,4	4,6	4,5	4,5	4,6	4,5
$F = 1200$ [N]	5,0	5,0	4,6	4,3	4,8	4,5	4,8	4,7
$F = 1200$ [N]	5,5	4,6	5,0	4,5	4,2	3,8	4,5	4,4
$F = 1200$ [N]	6,0	5,2	4,9	4,7	4,4	5,1	4,5	4,8
$F = 1200$ [N]	6,5	4,4	5,6	5,2	5,3	5,6	5,4	5,3
$F = 1200$ [N]	7,0	4,8	5,3	4,8	5,4	4,8	4,9	5,0
$F = 1200$ [N]	7,5	4,5	5,1	5,6	5,7	5,5	5,8	5,4
$F = 1200$ [N]	8,0	4,8	5,1	5,1	5,6	4,8	5,2	5,1
$F = 1200$ [N]	8,5	5,9	5,5	5,5	5,5	5,8	5,6	5,6
$F = 1200$ [N]	9,0	5,7	5,7	5,6	5,5	6,2	5,8	5,8

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

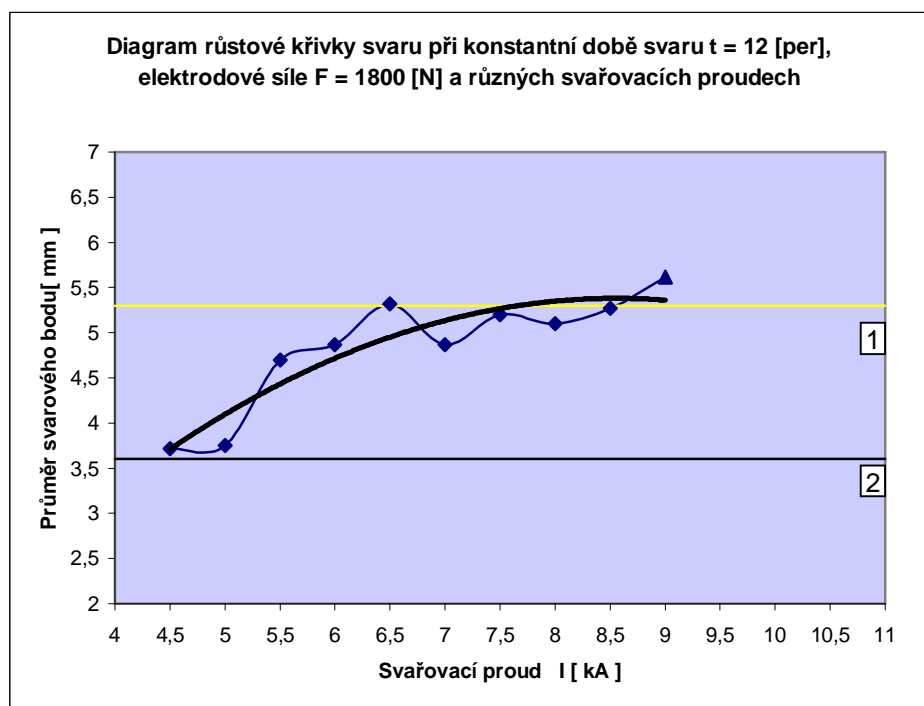
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 15

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t = 12$  [per] , elektrodové síle  $F = 1800$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 1800$ [N]	4,5	4,5	3,4	3,8	3,4	3,4	3,8	3,7
$F = 1800$ [N]	5,0	3,5	3,8	3,7	3,8	3,8	3,9	3,8
$F = 1800$ [N]	5,5	4,2	4,8	4,5	4,6	5,2	4,9	4,7
$F = 1800$ [N]	6,0	4,7	4,5	5,4	4,6	4,7	5,3	4,9
$F = 1800$ [N]	6,5	5,2	5,4	5,9	5,3	4,8	5,3	5,3
$F = 1800$ [N]	7,0	4,6	4,9	4,7	5,1	5,1	4,8	4,9
$F = 1800$ [N]	7,5	5,4	5,4	4,6	5,0	5,7	5,1	5,2
$F = 1800$ [N]	8,0	5,2	5,3	5,1	4,9	5,2	4,9	5,1
$F = 1800$ [N]	8,5	4,9	5,6	4,8	5,5	5,6	5,2	5,3
$F = 1800$ [N]	9,0	5,9	5,3	5,2	5,4	5,8	6,1	5,6

Legenda: **rozstřík**



Legenda:

1 Mez rozstříku

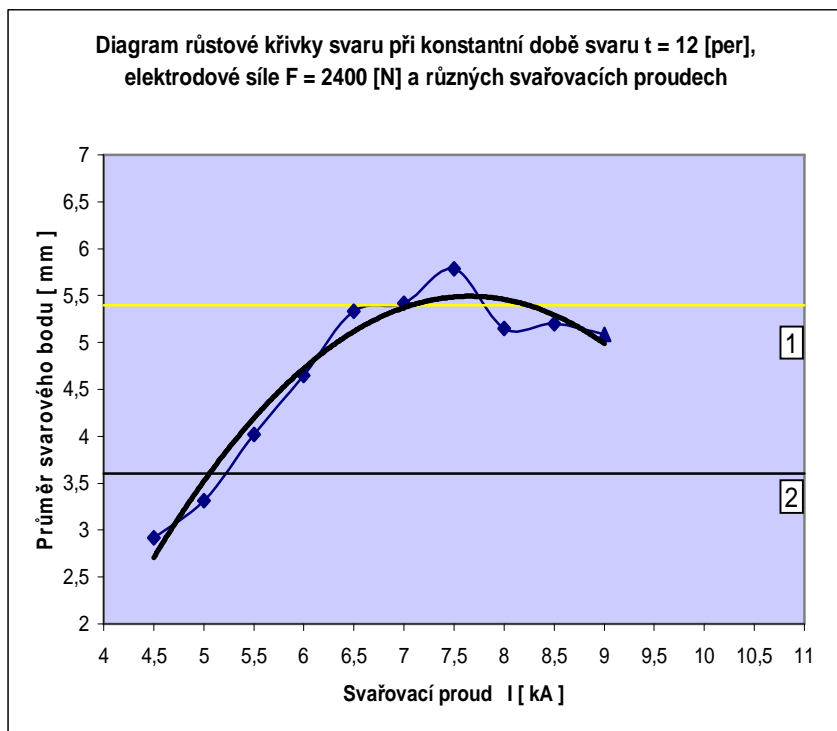
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 16

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t = 12$  [per], elektrodové síle  $F = 2400$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 2400$ [N]	4,5	3,3	2,5	2,0	3,1	3,4	3,2	2,9
$F = 2400$ [N]	5,0	3,3	3,2	3,3	2,9	3,0	4,2	3,3
$F = 2400$ [N]	5,5	4,0	4,4	3,6	3,9	3,8	4,4	4,0
$F = 2400$ [N]	6,0	4,8	4,9	4,7	4,7	4,3	4,5	4,7
$F = 2400$ [N]	6,5	5,3	5,3	5,7	5,1	5,2	5,4	5,3
$F = 2400$ [N]	7,0	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	4,6	5,4
$F = 2400$ [N]	7,5	5,4	5,7	5,9	6,0	5,7	6,0	5,8
$F = 2400$ [N]	8,0	5,3	5,4	5,1	4,9	5,3	4,9	5,2
$F = 2400$ [N]	8,5	4,8	5,6	5,1	5,9	4,9	4,9	5,2
$F = 2400$ [N]	9,0	5,1	5,1	4,8	5,1	5,2	5,2	5,1

Legenda: rozstřík



Legenda:

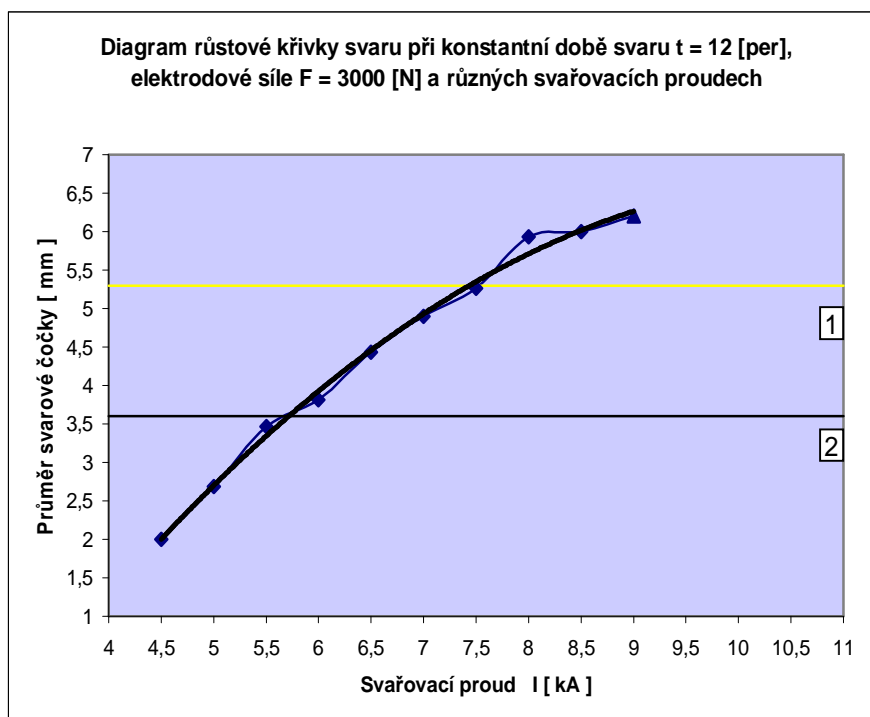
1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

# Příloha č. 17

Elektrodová síla F [ N ]	Svařovací proud I [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F = 3000 [N]	4,5	3,5	0,9	2,0	1,6	1,9	2,1	2,0
F = 3000 [N]	5,0	2,7	2,6	2,6	2,8	2,4	3,0	2,7
F = 3000 [N]	5,5	3,6	3,5	3,3	3,4	3,3	3,7	3,5
F = 3000 [N]	6,0	3,9	3,9	3,6	3,9	3,7	3,9	3,8
F = 3000 [N]	6,5	4,4	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5	4,4
F = 3000 [N]	7,0	4,6	4,9	4,8	4,9	5,0	5,2	4,9
F = 3000 [N]	7,5	5,3	5,2	5,6	5,1	5,1	5,3	5,3
F = 3000 [N]	8,0	6,1	6,0	5,8	5,7	6,0	6,0	5,9
F = 3000 [N]	8,5	6,2	5,7	6,0	6,1	5,9	6,1	6,0
F = 3000 [N]	9,0	6,2	6,3	6,2	6,1	6,1	6,3	6,2

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

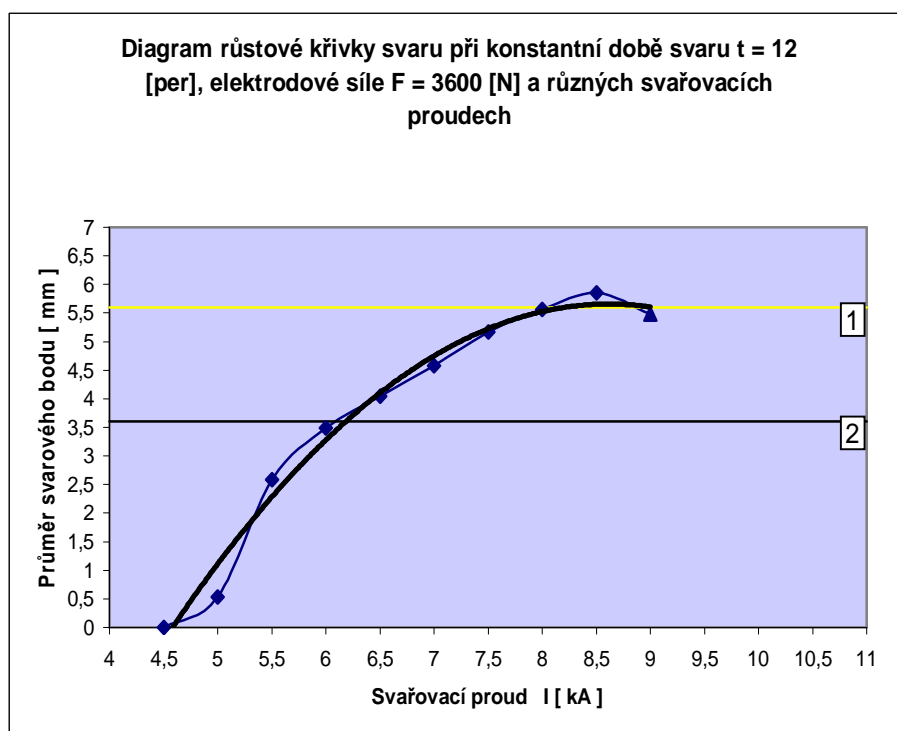
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 18

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t = 12$  [per] , elektrodové síle  $F = 3600$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 3600$ [N]	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 3600$ [N]	5,0	1,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
$F = 3600$ [N]	5,5	3,2	2,7	2,7	2,1	2,3	2,5	2,6
$F = 3600$ [N]	6,0	3,5	3,6	3,3	3,6	3,5	3,4	3,5
$F = 3600$ [N]	6,5	4,0	4,1	4,1	4,0	4,0	4,1	4,1
$F = 3600$ [N]	7,0	4,7	4,4	4,5	4,8	4,6	4,5	4,6
$F = 3600$ [N]	7,5	5,2	5,4	5,3	5,1	5,0	5,0	5,2
$F = 3600$ [N]	8,0	5,6	5,6	5,4	5,5	5,8	5,5	5,6
$F = 3600$ [N]	8,5	5,8	5,9	5,7	5,8	6,1	5,8	5,9
$F = 3600$ [N]	9,0	6,1	5,2	5,2	5,5	5,6	5,3	5,5

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

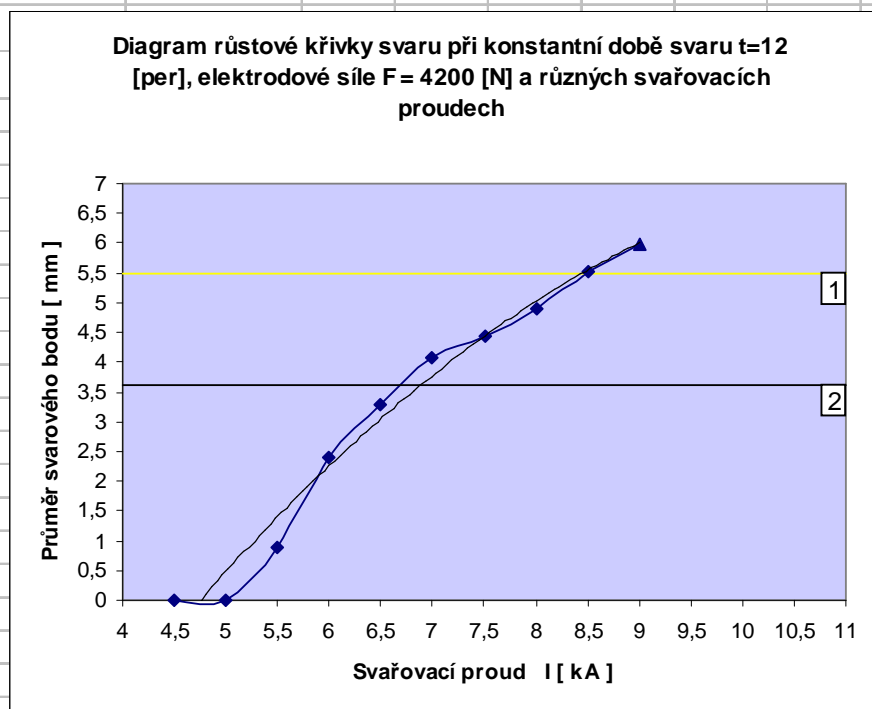
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

# Příloha č. 19

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t = 12$  [per] ,  
elektrodové síle  $F = 4200$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 4200$ [N]	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 4200$ [N]	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 4200$ [N]	5,5	3,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
$F = 4200$ [N]	6,0	2,6	2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4
$F = 4200$ [N]	6,5	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,5	3,3
$F = 4200$ [N]	7,0	4,6	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9	4,1
$F = 4200$ [N]	7,5	4,5	4,5	4,6	4,4	4,3	4,3	4,4
$F = 4200$ [N]	8,0	4,7	4,9	4,7	4,9	4,9	5,3	4,9
$F = 4200$ [N]	8,5	5,5	5,6	5,5	5,7	5,4	5,4	5,5
$F = 4200$ [N]	9,0	6,1	5,9	5,9	5,8	6,0	6,2	6,0

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

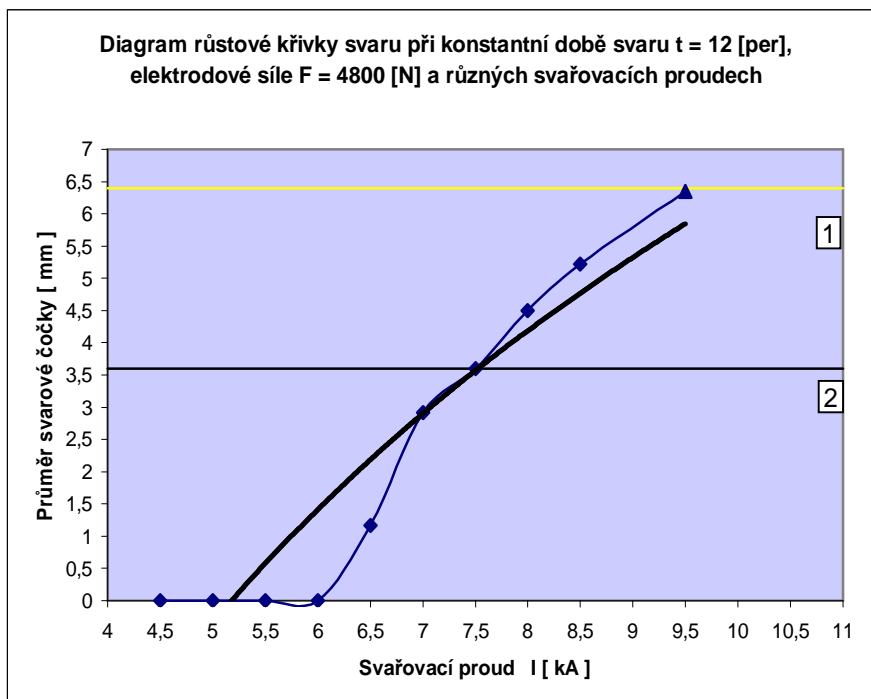
2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]

## Příloha č. 20

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru  $t = 12$  [per] , elektrodové síle  $F = 4800$  [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla $F$ [ N ]	Svařovací proud $I$ [ kA ]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 4800$ [N]	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 4800$ [N]	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 4800$ [N]	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 4800$ [N]	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 4800$ [N]	6,5	0,0	0,0	1,8	2,0	1,6	1,6	1,2
$F = 4800$ [N]	7,0	3,0	3,2	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9
$F = 4800$ [N]	7,5	3,7	3,7	3,5	3,6	3,6	3,5	3,6
$F = 4800$ [N]	8,0	4,5	4,4	4,5	4,4	4,4	4,8	4,5
$F = 4800$ [N]	8,5	5,2	5,0	5,1	4,9	5,5	5,6	5,2
$F = 4800$ [N]	9,5	6,5	6,1	6,3	6,6	6,2	6,4	6,4

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [ mm ]



## Parametry:

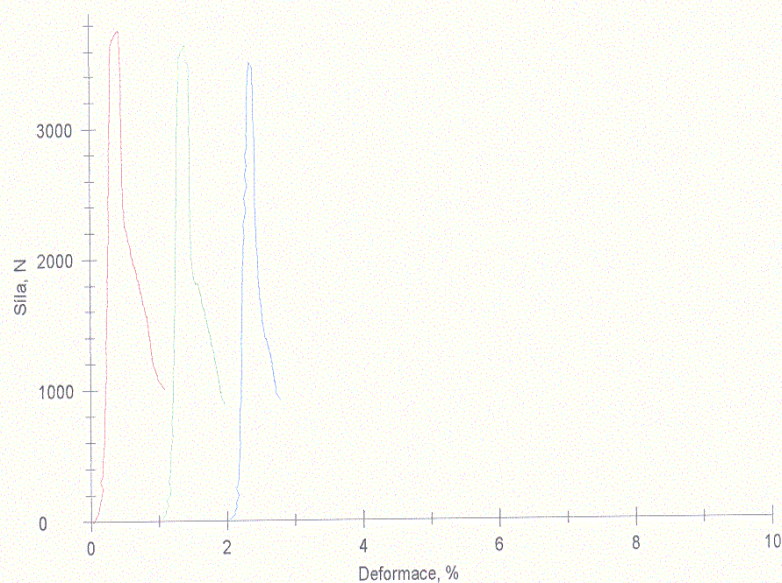
Číslo objednávky: 1200N	Materiál :
Šarže :	Průtahoměr :
Norma :	Snímač síly :
Zkoušel(a) :	Upínací čelisti :
Zákazník :	

Předzatížení : 2 N/mm<sup>2</sup>  
 Rychlost předzatěžování: 10 mm/min  
 Rychlost zkoušky : 50 mm/min

## Výsledky:

Nr	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
4	3756,17	-	0,43
5	3643,11	-	0,41
6	3498,05	-	0,36

## Grafické záznamy zkoušek:



## Statistika:

Série n = 3	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
x	3632,44	-	0,40
s	129,39	-	0,04
v	3,56	-	9,65



## Parametry:

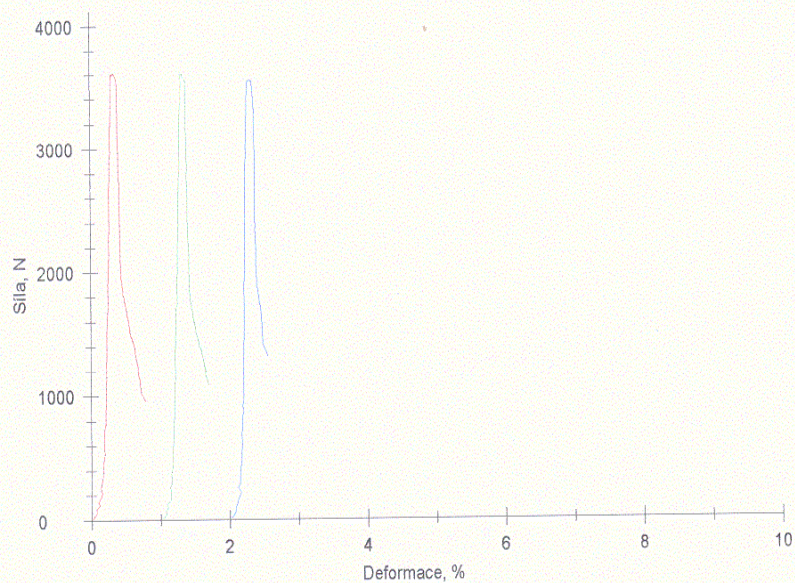
Číslo objednávky: 1800N	Materiál :
Šarže :	Průtahoměr :
Norma :	Snímač síly :
Zkoušel(a) :	Upínací čelisti :
Zákazník :	

Předzatížení : 2 N/mm<sup>2</sup>  
 Rychlost předzatěžování: 10 mm/min  
 Rychlost zkoušky : 50 mm/min

## Výsledky:

Nr	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
7	3613,31	-	0,35
8	3605,86	-	0,34
9	3549,76	-	0,32

## Grafické záznamy zkoušek:



## Statistika:

Série n = 3	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
$\bar{x}$	3589,64	-	0,34
s	34,74	-	0,02
v	0,97	-	4,94



## Parametry:

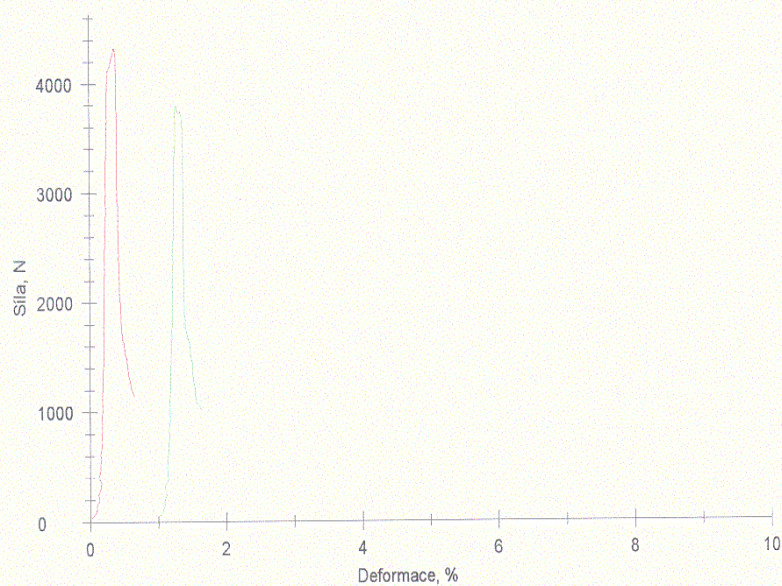
Číslo objednávky: 2400N	Materiál :
Šarže :	Průtahoměr :
Norma :	Snímač síly :
Zkoušel(a) :	Upínací čelisti :
Zákazník :	

Předzatížení : 2 N/mm<sup>2</sup>  
 Rychlost předzatěžování: 10 mm/min  
 Rychlost zkoušky : 50 mm/min

## Výsledky:

Nr	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
10	4324,13	-	0,37
11	3792,55	-	0,28

## Grafické záznamy zkoušek:



## Statistika:

Série n = 2	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
$\bar{x}$	4058,34	-	0,33
s	375,89	-	0,06
v	9,26	-	18,50



## Parametry:

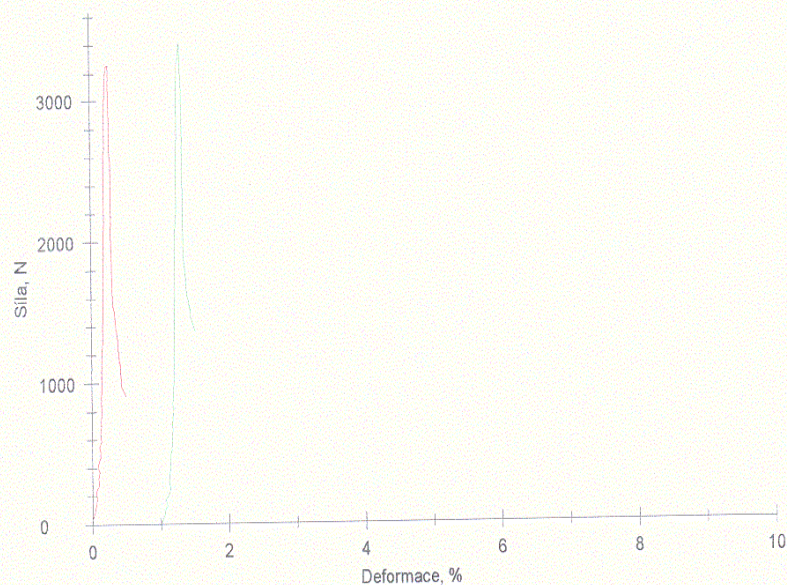
Číslo objednávky:	3000N	Materiál	:
Šarže	:	Průtahoměr	:
Norma	:	Snímač síly	:
Zkoušel(a)	:	Upínací čelisti	:
Zákazník	:		

Předzatížení : 2 N/mm<sup>2</sup>  
 Rychlost předzatěžování: 10 mm/min  
 Rychlost zkoušky : 50 mm/min

## Výsledky:

Nr	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
12	3257,01	-	0,27
13	3404,26	-	0,31

## Grafické záznamy zkoušek:



## Statistika:

Série n = 2	Fmax. N	εlom. %	ε Fmax. %
$\bar{x}$	3330,64	-	0,29
s	104,12	-	0,03
v	3,13	-	9,64

## Parametry:

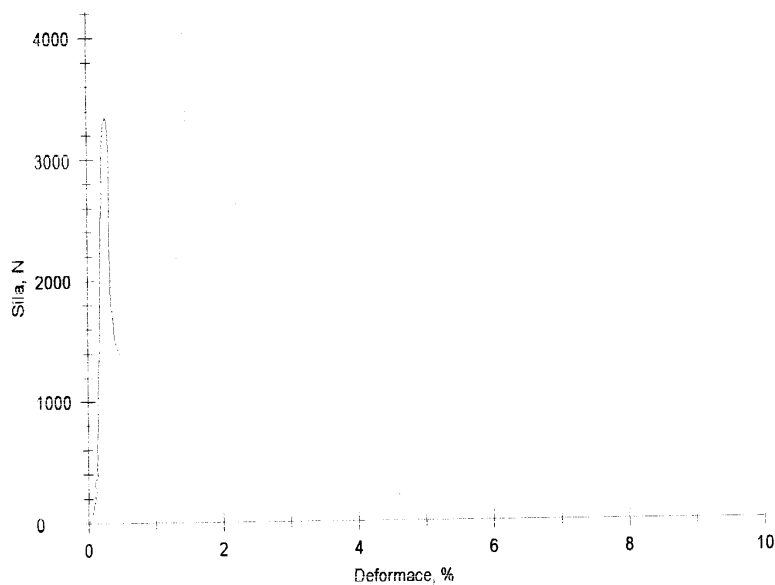
Číslo objednávky: 3600N	Materiál:	:
Šarže :	Průtahoměr	:
Norma :	Snímač síly	:
Zkoušel(a) :	Upínací čelisti	:
Zákazník :		

Předzatížení	:	2 N/mm <sup>2</sup>
Rychlost předzatěžování	:	10 mm/min
Rychlost zkoušky	:	50 mm/min

## Výsledky:

Nr	Fmax. N	elom. %	ε Fmax. %
14	3345,10	-	0,28
15	4040,15	-	0,42

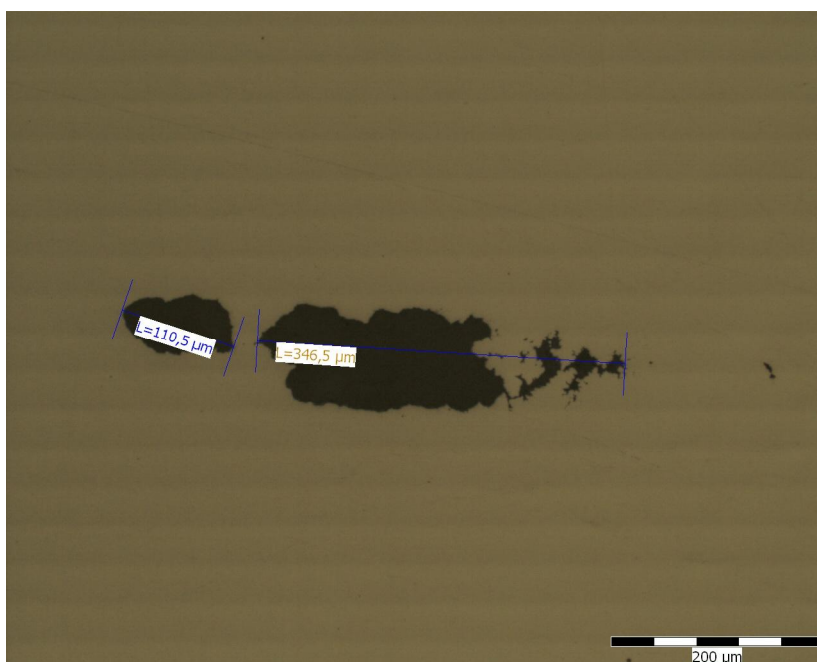
## Grafické záznamy zkoušek:



## Statistika:

Série n = 2	Fmax. N	elom. %	ε Fmax. %
x	3692,63	-	0,35
s	491,48	-	0,11
v	13,31	-	30,14

## Příloha č.26



### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5.1.2007

Podpis: .....

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5.1.2007

Signature: .....

